

3100097008374

**ANALISA ERGONOMI BIOMEKANIK PADA POSTUR  
PENGEMUDI KENDARAAN BERMOTOR RODA EMPAT  
(TOYOTA ALL NEW COROLLA SE-G M/T)**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan  
Studi Strata Satu dan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri*



RSI  
620.82  
Bud  
a-1  
1996

Oleh :

**GANGSAR BUDIONO**

**NRP. 2591100035**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1996**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	24 DEC 1996
Terima Dari	H
No. Agenda Pnp.	6764

**Mengetahui / Menyetujui**  
**Dosen Pembimbing**



**Ir. EKO NURMIANTO, M.Eng.Sc. DERT.**  
**NIP. 131 619 455**

**Mengetahui,**  
**Jurusan Teknik Industri**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**S u r a b a y a**

**Ketua,**  
**Dekan FTI – ITS**



  
**WIGNJOSOE BROTO, M.Sc.**  
**NIP. 130 687 436**

# NILAI AKHIR SIDANG SARJANA TEKNIK INDUSTRI - ITS

Nama : Gangsar Budiono

Nrp. : 2591.100.035

Komponen :

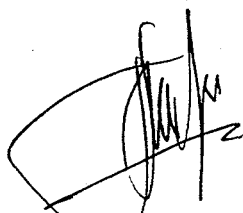
Komponen / Aspek (1)	Bobot (persen) (2)	Nilai Perolehan (3)	Nilai Angka (2) x (3)
1. Seminar (dari Seminar TA)	15	76.81	11.5
2. Sidang (dari Sidang Sarjana)	45	68,75	30,94
3. Tugas Akhir (khusus diberikan oleh Dosen Pembimbing)	40	70	28
Jumlah	100		70,44

Nilai Huruf :      A      B      C      D      E

Skala Nilai :

A = 81 - 100    B = 66 - 80    C = 56 - 65    D = 41 - 55    E = 0 - 40

Surabaya, .....9-10.....1996



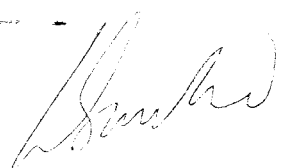

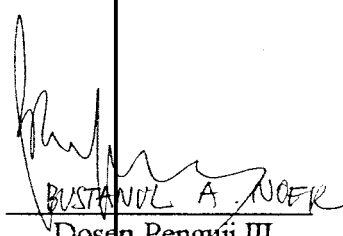
Gangsar Budiono

Mahasiswa ybs.



Ir. Eko Nurmianto, MEng.Sc. DERT

Dosen Pembimbing

 Dosen Penguji I	 Dosen Penguji II	 Dosen Penguji III
--	---	--

## DEKLARASI

Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian saya. Adanya data dari sumber lain disebutkan sesuai dengan penulis atau penemunya dan tahun pelaksanaan.

Tugas Akhir ini bukan merupakan tiruan dari hasil karya peneliti lain. Apabila ditemukan suatu jiplakan, maka saya bersedia untuk menerima akibat yang berupa sangsi akademis dan sangsi yang diberikan oleh yang berwenang.

Surabaya, Oktober 1996

Penulis

## ABSTRAKSI

Faktor manusia sangat penting dalam efektivitas pencapaian tujuan sistem, dalam berbagai macam sistem yang mengikutsertakan peran manusia didalamnya. Bila manusia tidak berfungsi secara efektif, maka pencapaian tujuan sistem secara keseluruhan seringkali tidak sesuai dengan harapan.

Peningkatan volume kendaraan roda empat, khususnya sedan menuntut perancangan fasilitas kerja seergonomis mungkin bagi pengguna kendaraan ini. Pendekatan dengan analisa ergonomi anthropometri digunakan untuk menilai kelayakan ergonomis stasiun kerja pengemudi kendaraan amatan (Toyota All New Corolla SE-G M/T).

Selain analisa eksternal fisik manusia, berupa analisa ergonomi anthropometri, tidak kalah penting untuk dilakukan adalah analisa internal fisik manusia dengan analisa ergonomi biomekanik. Dasar analisa ergonomi biomekanik adalah postur mengemudi pengemudi di saat mengemudikan kendaraan. Terdapat berbagai macam kemungkinan postur dalam mengemudikan kendaraan amatan, berdasarkan perbedaan sudut sandaran kursi pengemudi.

Analisa ergonomi biomekanik dilakukan untuk menentukan gaya-gaya yang bekerja pada ruas tulang belakang manusia (*vertebra*) dan pada ruas sendi antar ruas tulang belakang (*intervertebra disc*). Dengan membandingkan hasil perhitungan gaya-gaya pada masing-masing postur, dapat ditentukan sudut sandaran optimal sebagai dasar penentuan postur mengemudi yang disarankan.

Kata kunci : ergonomi, biomekanika, kursi mobil, postur pengemudi.

## KATA PENGANTAR

Puji, hormat, serta syukur bagi Tuhan atas hikmat, nasihat, pertolongan, hiburan dan kasih-Nya, hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu kurikulum wajib bagi mahasiswa Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk memenuhi persyaratan dalam menempuh ujian Sarjana Strata Satu (S1).

Penelitian dilakukan pada kabin pengemudi kendaraan bermotor roda empat, khusus untuk Toyota All New Corolla SE-G M/T, tentang kelayakan ergonomis kabin pengemudi dan postur mengemudi tertentu dengan menggunakan analisa ergonomi biomekanik.

Banyak pihak yang secara langsung maupun tidak, telah banyak memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Untuk itu penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Eko Nurmianto, MEng.Sc.DERT, selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan dan dorongan semangat yang telah diberikan.
2. Segenap pengajar dan karyawan di lingkungan Teknik Industri FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Pareng, Bapak Sunan Hadi dan Bapak Sutrisno, Karyawan pada bagian Perawatan dan Bengkel AUTO 2000 Basuki Rachmad Surabaya, yang telah banyak membantu dalam pengumpulan data penelitian langsung.

4. Bapak, Ibu, Kakak dan Adik atas doa dan suntikan motivasi yang telah diberikan.
5. Saudara terkasih, Jusak '*stuntman*' Danlee, atas segenap waktu, pikiran, tenaga dan nasihat yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. *I am just the actor*.
6. Bapak Antonius B.K., staff Assy Engineering Division PT. Toyota Astra Motor untuk kiriman faks-nya.
7. Teman-teman seperjuangan yang telah 'mendahului' penulis; Tutik, Kholik, Niken dan Hendro.
8. Vivi, atas jasa pengiriman 'paket' dan konsultasinya.
9. Nanung, untuk komputer, printer dan persaudaraan selama ini, khususnya selama hidup di 'masa pembuangan'.
10. Virgo, atas segala bantuannya, rasanya tidak cukup tempat di hati ini untuk menuliskan beribu kata terima kasih.
11. Ulum, Yani, Mendhem, Delta, Setiono, dan Ady, yang telah rela terganggu untuk beberapa saat.
12. H.B. Kristanto, atas kebersamaan dan persaudaraan di perantauan selama lebih dari lima tahun terakhir.
13. Daniel E.W., yang telah membangkitkan rasa 'cemburu' penulis.
14. Segenap warga KJTI-ITS, *keep the faith* dan saling melayani dalam kasih.
15. Team 91 Selection, atas kebersamaan dalam suka dan duka selama ini, semoga cepat lulus.

Juga kepada pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis berharap karya penelitian ini dapat bermanfaat khususnya bagi pihak-pihak yang berkepentingan dengan hasil penelitian tugas akhir ini dan juga bagi pengembangan ilmu.

Surabaya, Oktober 1996

Penulis



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Model sistem input output biomekanik .....	26
Gambar 2.2.	Model statis satu segmen .....	27
Gambar 2.3.	Model statis dua segmen .....	29
Gambar 2.4.	Model punggung .....	30
Gambar 2.5.	Gaya tekan pada sendi antar tulang belakang .....	32
Gambar 2.6.	Intervertebra disc saat menerima bending .....	34
Gambar 2.7.	Tegangan-tegangan pada sendi akibat beban torsi .....	35
Gambar 2.8.A.	Tujuh macam ligamen .....	37
Gambar 2.8.B.	Skema ligamen-ligamen utama pada thoracic .....	38
Gambar 2.8.C.	Skema ligamen-ligamen utama pada lumbar ... ..	38
Gambar 3.1.	Skema metodologi penelitian .....	51
Gambar 3.2.	Skema analisa biomekanik .....	52
Gambar 4.1.	Dimensi tubuh yang diukur dalam tabel anthropometri	58
Gambar 4.2.	Gaya-gaya yang bekerja pada postur duduk .....	65
Gambar 4.3.	Diagram analisa ruas tulang belakang .....	72
Gambar L.1.A.	Gambar perspektif kendaraan amatan .....	L.1.1
Gambar L.1.B.	Gambar interior tampak atas kendaraan amatan .....	L.1.2
Gambar L.1.C.	Gambar teknik kursi depan kanan kendaraan amatan ...	L.1.3
Gambar L.1.D.	Gambar teknik kursi belakang kendaraan amatan .....	L.1.4
Gambar L.2.A.	Gambar postur mengemudi untuk sudut sandaran 90 <sup>0</sup>	L.2.1

Gambar L.2.B.	Gambar postur mengemudi untuk sudut sandaran 100 <sup>0</sup>	L.2.2
Gambar L.2.C.	Gambar postur mengemudi untuk sudut sandaran 105 <sup>0</sup>	L.2.3
Gambar L.2.D.	Gambar postur mengemudi untuk sudut sandaran 110 <sup>0</sup>	L.2.4
Gambar L.2.E.	Photo rontgen pria sehat usia 25 tahun .....	L.2.5
Gambar L.2.F.	Photo rontgen wanita normal usia 18 tahun .....	L.2.6
Gambar L.2.G.	Vertebra thoracica inferior dan vertebra lumbalis .....	L.2.7
Gambar L.2.H.	Fleksi dan ekstensi kolom vertebra .....	L.2.8

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Spesifikasi kendaraan .....	55
Tabel 4.2.	Tabel dan hasil pengamatan dimensi geometris interior Toyota All New Corolla SE-G M/T .....	57
Tabel 4.3.	Tabel anthropometri Hongkong untuk usia dewasa (19-65 tahun) .....	59
Tabel 5.1.	Perbandingan hasil pengukuran dan pengamatan langsung pada obyek yang diamati .....	74
Tabel L.1.A.	Statistik penjualan sedan seharga Rp 35-70 juta tahun 1995 .....	L.1.3
Tabel L.2.A.	Prosentase segmen-segmen tubuh .....	L.2.9
Tabel L.3.A.	Input data model dalam analisa biomekanik .....	L.3.1
Tabel L.3.B.1.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90 <sup>0</sup> .....	L.3.2
Tabel L.3.B.2.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90 <sup>0</sup> .....	L.3.3
Tabel L.3.B.3.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90 <sup>0</sup> .....	L.3.4

Tabel L.3.C.1.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100 <sup>0</sup> .....	L.3.6
Tabel L.3.C.2.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100 <sup>0</sup> .....	L.3.7
Tabel L.3.C.3.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100 <sup>0</sup> .....	L.3.8
Tabel L.3.C.4.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100 <sup>0</sup> .....	L.3.9
Tabel L.3.D.1.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105 <sup>0</sup> .....	L.3.10
Tabel L.3.D.2.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105 <sup>0</sup> .....	L.3.11
Tabel L.3.D.3.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105 <sup>0</sup> .....	L.3.12
Tabel L.3.D.4.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105 <sup>0</sup> .....	L.3.13
Tabel L.3.E.1.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 110 <sup>0</sup> .....	L.3.14
Tabel L.3.E.2.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 110 <sup>0</sup> .....	L.3.15

Tabel L.3.E.3.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 110 <sup>0</sup> .....	L.3.16
Tabel L.3.E.4.	Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 110 <sup>0</sup> .....	L.3.17
Tabel L.4.A.	Analisa biomekanik pada postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90 <sup>0</sup> .....	L.4.1
Tabel L.4.A.	Analisa biomekanik pada postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100 <sup>0</sup> .....	L.4.2
Tabel L.4.A.	Analisa biomekanik pada postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105 <sup>0</sup> .....	L.4.3
Tabel L.4.A.	Analisa biomekanik pada postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 110 <sup>0</sup> .....	L.4.4

## DAFTAR ISTILAH

Abduksi	: menjauh dari pusat tubuh
Adduksi	: menuju ke pusat tubuh
Anatomi	: ilmu yang mempelajari struktur tubuh manusia
Anthropometri	: studi tentang dimensi tubuh manusia
Eksorotasi	: memutar lengan ke arah luar
Endorotasi	: memutar lengan ke arah dalam
Ekstensi	: meluruskan atau memperbesar sudut antara bagian-bagian tubuh
Fleksi	: membengkokkan atau memperkecil sudut antara bagian-bagian tubuh
Fisiologi	: ilmu yang mempelajari sistem cara kerja, proses dan metabolisme dari struktur-struktur tubuh
Free body diagram	: diagram tubuh manusia dalam keadaan bebas dari benda benda sekitarnya
Intervertebral disc	: sendi antar ruas tulang belakang
Kinesiologi	: studi tentang gerakan manusia
Lateral bending	: menghindar ke samping dari pusat tubuh
Ligamen	: jaringan ikat yang menghubungkan dua ruas tulang
Model punggung	: model yang menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada tulang belakang

Persentil	: suatu nilai yang menyatakan prosentase tertentu dari sekelompok orang yang mempunyai dimensi sama atau lebih kurang dari nilai tersebut
Pronasi	: memutar lengan bawah hingga telapak tangan menghadap ke bawah
Rotasi	: gerakan memutar pada bidang horisontal
Supinasi	: memutar lengan bawah sehingga telapak tangan menghadap ke atas
Vertebra	: ruas tulang belakang yang terdiri dari 7 ruas cervical, 12 ruas thoracic, dan 5 ruas lumbar

## DAFTAR ISI

Kata pengantar .....	i
Daftar gambar .....	iv
Daftar tabel .....	vi
Daftar istilah .....	ix
Daftar isi .....	xi
<b>Bab I    Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar belakang permasalahan .....	1
1.2    Perumusan pokok permasalahan .....	2
1.3    Tujuan penelitian .....	4
1.4    Manfaat pemecahan masalah .....	4
1.5    Pembatasan masalah .....	5
1.6    Asumsi-asumsi .....	6
1.7    Metodologi penelitian .....	6
1.8    Sistematika penulisan .....	7
<b>Bab II    TeoriPendahuluan.....</b>	<b>8</b>
2.1    Pengertian ergonomi . .....	8
2.1.1.    Fokus ergonomi .....	9
2.1.2.    Obyektif tujuan ergonomi .....	10
2.1.3.    Pendekatan-pendekatan ergonomi .....	10
2.2    Anthropolometri .....	11



2.2.1.	Variabilitas .....	13
2.2.2.	Persentil .....	16
2.2.3.	Aplikasi data anthropometri dalam perancangan produk/ fasilitas .....	17
2.2.3.1.	Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran ekstrim .....	17
2.2.3.2.	Prinsip perancangan produk yang bisa dioperasikan diantara rentang ukuran tertentu .....	17
2.2.3.3.	Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata ....	19
2.3	Anatomi manusia .....	20
2.3.1.	Kerangka .....	20
2.3.2.	Batas-batas gerakan tubuh .....	21
2.4	Pengertian kenyamanan .....	22
2.5	Sikap duduk .....	23
2.6	Kursi .....	24
2.7	Biomekanik .....	25
2.7.1.	Pengertian biomekanik .....	25
2.7.2.	Model biomekanik .....	26
2.7.2.1.	Model statis satu segmen .....	27
2.7.2.2.	Model statis dua segmen .....	28
2.7.2.3.	Model punggung .....	30
2.8	Komponen-komponen fisik dan biomekanik tulang belakang .....	30

2.8.1. Sendi antar tulang belakang (intervertebra disc) .....	31
2.8.1.1. Tekanan (compression) .....	31
2.8.1.2. Tegangan (tension) .....	33
2.8.1.3. Tekukan (bending) .....	33
2.8.1.4. Gaya geser (shear) .....	34
2.8.2. Jaringan ikat (ligamen) .....	36
2.8.3. Ruas-ruas tulang belakang (vertebra) .....	39
2.8.4. Bagian fungsional tulang belakang (FSU) .....	39
Bab III Metodologi penelitian .....	41
3.1. Identifikasi permasalahan .....	41
3.2. Tujuan penelitian .....	42
3.3. Studi pustaka .....	42
3.4. Penetapan variabel penelitian .....	43
3.5. Pemilihan kendaraan amatan .....	43
3.6. Observasi kendaraan .....	43
3.7. Ruang pengemudi .....	44
3.8. Data anthropometri .....	44
3.9. Data anthropometri pria persentilke-95, wanita persentil ke 5 .....	44
3.10 Data anthropometri model .....	45
3.11 Dimensi geometris interior kendaraan .....	45

3.12	Analisa ergonomi anthropometri .....	45
3.13	Studi biomekanik .....	46
3.13.1.	Pengumpulan data FSU .....	47
3.13.2.	Gambar postur .....	47
3.13.3.	Sudut singgung antara anggota badan dengan kursi .....	48
3.13.4.	Sudut inklinasi vertebra .....	48
3.13.5.	Penetapan gaya normal dan gaya geser pada intervertebra disc .....	49
3.13.6.	Perhitungan momen bending pada intervertebra disc .....	49
3.13.7.	Gaya yang bekerja pada vertebra .....	49
3.13.8.	Interpretasi masing-masing gaya pada setiap vertebra dan intervertebra disc .....	50
Bab IV	Pengumpulan dan pengolahan data .....	53
4.1.	Profil kendaraan .....	53
4.1.1.	Spesifikasi kendaraan .....	54
4.1.2.	Dimensi geometris interior kendaraan .....	56
4.2.	Data anthropometri .....	58
4.3.	Pengolahan data untuk analisa ergonomi anthropometri .....	59
4.4.	Pengolahan data untuk analisa ergonomi biomekanik .....	63
4.4.1.	Free body analisis .....	63

4.4.2.	Analisa intervertebra disc .....	66
2.4.2.1.	Gaya normal .....	66
2.4.2.2..	Gaya geser .....	67
2.4.2.3..	Momen bending .....	68
4.4.3.	Analisa ruas tulang belakang .....	69
Bab V	Analisa dan interpretasi .....	73
5.1.	Analisa ergonomi anthropometri .....	73
5.2.	Analisa ergonomi biomekanik .....	74
5.2.1.	Analisa sendi antar tulang belakang .....	74
5.2.1.1.	Gaya normal .....	74
5.2.1.2.	Gaya geser .....	75
5.2.1.3.	Momen bending .....	76
5.2.2.	Analisa ruas tulang belakang .....	74
Bab VI	Kesimpulan dan saran .....	78
6.1.	Kesimpulan .....	78
6.2.	Saran .....	79
Daftar pustaka	.....	80
Lampiran I.	Kendaraan amatan .....	L.1.1
Lampiran II.	Model amatan .....	L.2.1
Lampiran III.	Input data .....	L.3.1
Lampiran IV.	Analisa data .....	L.4.1

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Permasalahan**

Pertumbuhan perekonomian telah mendorong pertumbuhan kepemilikan kendaraan bermotor di Indonesia. Secara kuantitatif jumlah pemilik kendaraan bermotor pada saat ini relatif lebih banyak dibandingkan masa satu dekade yang lalu. Kendaraan bermotor roda empat pada saat ini telah menjadi kebutuhan, dan bukan lagi menjadi barang mewah untuk kalangan tertentu. Secara tidak langsung peningkatan kepemilikan kendaraan bermotor roda empat ini telah meningkatkan pula variasi pengguna baik dalam umur dan juga jenis kelamin.

Secara umum sekarang kita dapat melihat bahwa banyak anak usia remaja dan bahkan ibu rumah tangga yang mengemudikan kendaraan bermotor roda empat, apalagi bila kita melihat penumpang dari kendaraan tersebut mulai dari anak kecil sampai orang berusia lanjut. Perkembangan ini menimbulkan masalah tersendiri dalam perancangan fasilitas bagi pengguna kendaraan bermotor roda empat, yang harus dapat mempertimbangkan keragaman serta bagaimana dapat mengakomodasikan variasi perbedaan pengguna yang ada.

Sebagaimana kita ketahui, di dalam dunia otomotif Indonesia terdapat berbagai macam pengelompokkan kendaraan bermotor roda empat, diantaranya kendaraan angkutan barang dan penumpang, sedangkan untuk kendaraan angkutan penumpang masih akan dibedakan lagi dalam kendaraan niaga dan sedan.

Perkembangan kepemilikan kendaraan bermotor roda empat di Indonesia mengarah ke kendaraan niaga dan bukan sedan sebagaimana halnya di negara-negara berkembang. Hal ini boleh jadi karena kendaraan niaga pada dasarnya adalah kendaraan angkutan penumpang yang dapat mengangkut lebih banyak penumpang atau pun barang (fungsional) dan juga memiliki harga jual di bawah sedan (ekonomi).

Tetapi dengan semakin meningkatnya kemampuan ekonomi masyarakat, kemudian dengan ditunjang berbagai macam keputusan ekonomi-politik yang ditetapkan pemerintah khususnya yang berhubungan dengan industri otomotif nasional, akan sangat memungkinkan terjadi perubahan trend kepemilikan kendaraan bermotor roda empat dari kendaraan niaga ke sedan.

## **1.2. Perumusan Pokok Permasalahan**

Penelitian yang telah dilakukan oleh Agus Windharto (1992) tentang studi ergonomi stasiun kerja pengemudi kendaraan bermotor roda empat telah mendorong penulis melakukan penelitian pada kelayakan ergonomis kabin pengemudi dan kabin penumpang kendaraan bermotor roda empat khusus pada sedan dengan pendekatan analisa biomekanik.

Seperti kita ketahui bahwa pengemudi memainkan peranan yang penting dalam keselamatan berkendara di jalan raya. Melihat peran pengemudi yang sedemikian besar maka perlu dilakukan suatu penelitian yang dapat memberikan rekomendasi kepada seorang pengemudi untuk dapat menjalankan

tugasnya dengan nyaman, yang dapat mereduksi kelelahan fisik, yang selanjutnya dapat mengurangi penurunan konsistensi kerja akibat konsentrasi kerja yang tinggi.

Kabin pengemudi kendaraan bermotor roda empat adalah lingkungan kerja yang sangat terbatas, sehingga agar dapat memberikan kelelahan kerja kepada pengemudi diperlukan rancangan ruangan kerja yang seergonomis mungkin. Kegiatan kerja yang dilakukan seorang pengemudi adalah kegiatan kerja yang dilakukan dalam posisi duduk. Dalam kondisi kerja yang demikian, maka beban kerja yang diterima seorang pengemudi cenderung statis dan monoton, yang akan menurunkan performansi kerja bila kerja dilakukan dalam waktu yang lama.

Analisa terhadap kabin penumpang kendaraan bermotor roda empat (khususnya sedan) diprioritaskan pada aspek ergonomi dengan pendekatan analisa biomekanik. Ergonomi adalah studi tentang manusia di dalam lingkungan kerjanya, baik ditinjau dari aspek anatomi, fisiologi maupun psikologis. Hal ini akan berguna untuk optimalisasi pada efisiensi, kesehatan, keamanan, dan kenyamanan pengguna kendaraan bermotor roda empat. Analisa biomekanik adalah suatu cara untuk menentukan beban kerja yang diterima oleh bagian tubuh tertentu akibat pengaruh gaya-gaya yang bekerja pada bagian tubuh tersebut, yang ditimbulkan oleh beban kerja internal maupun eksternal.

Selain memperhatikan batasan ruang dalam kabin kendaraan dan aktivitas yang dilakukan pengguna kendaraan, batasan yang ada dalam pengguna kendaraan memegang peranan yang penting dalam menganalisa kelayakan ergonomi kabin penumpang kendaraan bermotor roda empat. Batasan ini

disebabkan karena adanya variasi dalam umur, jenis kelamin, etnik, posisi badan, dan juga pakaian yang digunakan penumpang.

Aspek ergonomi yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah aspek anthropometri, yaitu segenap aspek yang berkaitan dengan dimensi tubuh pengguna kendaraan, khususnya dalam posisi kerja duduk. Oleh karena itu untuk memandang kelayakan ergonomis rancangan yang sudah ada, maka tolak ukur pengambilan keputusannya adalah dari rancangan tempat duduk baik untuk pengemudi maupun untuk penumpang.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan beberapa sasaran pokok:

1. Mengevaluasi kelayakan ergonomis kabin pengemudi kendaraan amatan.
2. Mengusulkan rancangan ulang kabin pengemudi kendaraan amatan, bila rancangan yang sudah ada ternyata kurang ergonomis.
3. Merekomendasikan sudut sandaran pengemudi optimal untuk mengurangi keluhan-keluhan pada punggung bagian bawah.

### **1.4. Manfaat Pemecahan Masalah**

Manfaat yang diharapkan dari pemecahan masalah yang ada dalam analisa ergonomi kabin pengemudi dan penumpang kendaraan bermotor roda empat ini adalah:



1. Memberikan nilai tambah pada kenyamanan, keamanan, dan kesehatan pengguna kendaraan bermotor roda empat.
2. Merekomendasikan posisi mengemudi yang tepat untuk mengurangi kelelahan akibat beban kerja yang ada.
3. Mengurangi salah satu faktor penyebab kecelakaan lalu-lintas akibat kesalahan manusia.
4. Membantu memberi sumbangan ide bagi pengembangan desain interior kendaraan bermotor roda empat.

### **1.5. Pembatasan Masalah**

Dalam Tugas Akhir ini pembahasan dibatasi pada evaluasi faktor anthropometri terhadap interior kendaraan bermotor roda empat, yang meliputi hal-hal sebagai berikut:

- Tinggi dan lebar sandaran kursi pengemudi
- Kedalaman dan lebar alas kursi pengemudi.
- Kemiringan sandaran kursi pengemudi.
- Jarak jangkauan kaki dan tangan terhadap peralatan kontrol.

Sedangkan batasan penelitian yang berhubungan dengan analisa biomekanik adalah :

- Analisa dilakukan berdasarkan postur kerja.
- Postur yang diteliti berasal dari seorang model.
- Analisa biomekanik dilakukan berdasarkan "*free body diagram*" ruas-ruas tulang belakang.

### **1.6. Asumsi-asumsi**

Asumsi- asumsi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Efisiensi sistem manusia-obyek berhubungan dengan efisiensi fungsi manusia dalam sistem itu
- Karakteristik lingkungan, obyek, dan peralatan mempengaruhi kerja manusia dan juga performansi sistem manusia-obyek secara keseluruhan
- Dimensi fisik orang Indonesia dewasa (19-65 tahun) dianggap sama dengan dimensi fisik orang Hongkong dewasa (19-65 tahun).
- Prosentase berat tubuh yang diwakili oleh tulang belakang untuk suatu populasi dianggap sama.

### **1.7. Metodologi Penelitian**

Dalam penelitian tugas akhir ini, metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan penelitian; berupa penetapan tujuan penelitian, identifikasi permasalahan, penetapan variabel penelitian, studi pustaka dan penetapan kriteria kendaraan yang akan diamati.
2. Pengumpulan data; dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung terhadap kendaraan yang diteliti, penetapan data anthropometri untuk populasi maupun untuk model serta data-data dimensi tulang belakang.
3. Analisa data; digunakan pendekatan analisa ergonomi anthropometri untuk menganalisa kelayakan ergonomi rancangan yang telah ada dan analisa biomekanik untuk rekomendasi postur kerja duduk yang ergonomis.

4. Penarikan kesimpulan dan saran.

### **1.8. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan

Bab II. Landasan Teori

Bab III. Metodologi Penelitian

Bab IV. Pengumpulan Data

Bab V. Analisa Data dan Interpretasi

Bab VI. Kesimpulan dan Saran

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Pengertian Ergonomi

Ergonomi dapat dikatakan sebagai studi tentang interaksi antara manusia dan obyek yang digunakannya serta dengan lingkungan kerja yang mereka gunakan. Definisi ini mengacu pada elemen-elemen: manusia, obyek, lingkungan, dan interaksi kompleks diantara ketiganya. Menurut literatur kata ergonomi pertama kali digunakan pada pertengahan abad XIX. Wojciech Jastrzebowski membentuk kata ergonomi dari dua kata Yunani; *ergon* berarti kerja dan *nomos* berarti hukum alam.

Definisi ergonomi secara praktis adalah *perancangan obyek yang akan digunakan oleh manusia* (design for human use). Sanders dan McCormick mendefinisikan secara lengkap tentang ergonomi. Mereka menjelaskannya melalui tiga pendekatan; fokus utama, sasaran, dan pendekatan utama. *Fokus utama* ergonomi adalah mempertimbangkan faktor manusia dalam perancangan obyek, peralatan, dan juga lingkungannya. *Sasaran* utamanya adalah meningkatkan efektivitas hasil kerja sistem manusia-mesin. *Pendekatan utama* adalah dengan mengaplikasikan secara sistematis data tentang karakteristik kemampuan dan keterbatasan manusia dalam merancang suatu sistem atau pun prosedur.

Tema pokok ergonomi adalah menyesuaikan tugas yang akan dilakukan manusia (*fitting the tasks to the person*). Ini berarti bahwa dalam merancang

produk seorang perancang harus senantiasa memikirkan apa yang akan dan apa yang bisa dilakukan oleh manusia. Untuk ini diperlukan data yang berkaitan dengan kemampuan dan keterbatasan yang dimiliki manusia yang biasanya didapat dari penelitian dasar terhadap manusia itu sendiri.

Ergonomi juga dapat diterangkan dari teori sistem umum (*general systems theory*). Agar sistem dapat berfungsi secara efektif, dua hal pokok yang harus dipenuhi adalah; komponen sistem harus dirancang terlebih dahulu dan komponen-komponen tersebut secara bersama-sama dapat berfungsi mencapai tujuan. Manusia adalah bagian integral dari sistem manusia-mesin, dan bila manusia tidak bisa berfungsi secara efektif maka pencapaian tujuan sistem secara keseluruhan seringkali tidak sesuai dengan harapan.

### **2.1.1. Fokus Ergonomi**

Fokus dari ergonomi adalah manusia dan interaksinya dengan produk, peralatan, fasilitas, prosedur serta lingkungan yang digunakan dalam bekerja dan hidup sehari-hari. Perhatian utama dari ergonomi adalah pada manusia dan bagaimana rancangan suatu produk/barang mempengaruhi manusia yang menggunakannya. Ergonomi yang juga disebut dengan "*human factors*" berusaha mencari perubahan terhadap produk/barang yang digunakan manusia agar dapat meningkatkan kemampuan sekaligus mengatasi keterbatasan-keterbatasan manusia.

### **2.1.2. Obyektif Tujuan Ergonomi**

Ergonomi mempunyai dua tujuan utama. Tujuan pertama adalah untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pekerjaan-pekerjaan atau aktivitas-aktivitas yang dilakukan. Yang termasuk di sini adalah kemudahan dan ketepatan dalam penggunaan, mengurangi kesalahan serta menambah produktivitas. Tujuan kedua adalah meningkatkan nilai-nilai yang diinginkan manusia. Tujuan ini meliputi peningkatan keamanan, pengurangan kelelahan dan stres, menambah kenyamanan, lebih banyak pengguna yang dapat menerima, menambah kepuasan kerja serta memperbaiki kualitas hidup. Bila dilihat sekilas, maka tujuan-tujuan tersebut tampak seperti sebuah permintaan atau tuntutan yang terlalu tinggi yang harus dipenuhi. Dalam kaitannya dengan hal tersebut, Chapanis (1983) mengatakan bahwa : pertama, hanya salah satu dari tujuan-tujuan tersebut yang umumnya paling penting dalam aplikasi-aplikasi khusus; kedua, tujuan-tujuan tersebut biasanya saling berhubungan. Contoh dari pernyataan yang kedua yaitu : sebuah mesin atau produk yang dihasilkan lewat disiplin ergonomi biasanya tidak hanya lebih aman saja, tetapi juga lebih mudah penggunaannya, lebih sedikit menghasilkan kelelahan, dan lebih puas dalam menggunakannya.

### **2.1.3. Pendekatan-Pendekatan Ergonomi**

Pendekatan yang ada dalam disiplin ergonomi adalah penerapan secara sistematis dari segala informasi yang relevan tentang kemampuan-kemampuan,

keterbatasan-keterbatasan, karakteristik-karakteristik, dan perilaku manusia di dalam perancangan peralatan, fasilitas, dan lingkungan kerja yang dipakai.

Sedangkan menurut Nurmianto (1991) pokok-pokok kesimpulan mengenai disiplin ergonomi, adalah sebagai berikut :

- Fokus perhatian ergonomi berkaitan dengan aspek-aspek manusia di dalam perancangan "*Man-mode objects*", fasilitas, dan lingkungan kerja.
- Tujuan utama dari ergonomi ;
  1. Memperbaiki *performance*, seperti menambah kecepatan kerja, akurasi, keselamatan kerja, dan mengurangi kesalahan.
  2. Mengurangi waktu pelatihan dan biaya.
  3. Memperbaiki pendayagunaan sumber daya manusia melalui pengurangan tingkat ketrampilan yang diperlukan.
  4. Meminimalkan kerusakan peralatan yang disebabkan oleh kesalahan manusia.
  5. Memperbaiki kenyamanan manusia dalam bekerja.

Dengan memperhatikan hal-hal tersebut maka penelitian tentang ergonomi akan memerlukan dukungan berbagai disiplin keilmuan seperti Psikologi, Anthropologi, Faal/Anatomi, dan Teknologi (Engineering).

## 2.2. Anthropometri

Anthropometri menurut Stevenson (1989) adalah suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia, ukuran,

bentuk dan kekuatannya. Penerapan data ini adalah untuk penanganan masalah desain peralatan atau ruang kerja.

Data pada penelitian ini didapat dengan pengukuran pada ukuran anggota tubuh manusia dan dikumpulkan dari pengambilan sampel yang memenuhi syarat untuk mewakili populasi dan berdistribusi normal. Dari data tersebut dicari mean (rata-rata) dan simpangan baku (standard deviasi).

Bila dilihat menurut jenis datanya, maka data anthropometri dibagi menjadi dua kategori yaitu :

#### 1. Dimensi Struktural

Data ini diperoleh dari berbagai variasi ukuran tubuh yang standar dan dalam posisi normalnya. Dimensi struktural ini sering disebut juga dengan nama anthropometri statis.

#### 2. Dimensi fungsional

Data ini berkaitan dengan tubuh dalam berbagai macam postur kerja. Dimensi ini juga dinamakan anthropometri dinamis.

Menurut Damon, jika diinginkan gambaran dimensi tubuh sekelompok manusia untuk mengetahui interaksi antara orang dengan benda-benda sekitarnya maka sepuluh dimensi yang paling penting untuk diperoleh yaitu

1. *Height* (tinggi)
2. *Weight* (berat)
3. *Sitting height* (tinggi siku)
4. *Buttock knee length* (panjang pantat-lutut)



5. *Buttock popliteal lenght* (panjang pantat-betis)
6. *Breadth across elbow* (lebar siku-siku)
7. *Breadth across hip* (lebar pinggul)
8. *Popliteal height* (tinggi betis)
9. *Knee height* (tinggi lutut)
10. *Thigh clearence* (tebal paha)

### 2.2.1. Variabilitas

Pengukuran dimensi tubuh manusia relatif mudah jika diterapkan pada data perseorangan. Akan tetapi semakin banyak jumlah manusia yang diukur dimensi tubuhnya maka akan semakin kelihatan betapa besar variasinya antara satu tubuh dengan tubuh lainnya, baik secara keseluruhan maupun per segmennya. Adapun untuk mendapatkan data yang seteliti mungkin, maka dibutuhkan beberapa alternatif jawaban dari beberapa pertanyaan berikut ini :

- Berapa besar jumlah sampel yang harus diukur ?
- Haruskah sampel tersebut hanya terbatas pada kalangan tertentu saja ?
- Apakah data yang didapat nanti akan dapat diterapkan pada jenis populasi masyarakat tertentu yang lain ?

Perbedaan antara satu populasi dengan populasi yang lain jelas ada dan variasi tersebut adalah dikarenakan oleh faktor-faktor antara lain (Stevenson, 1989) :

### 1. Keacakan

Walaupun telah terdapat dalam satu kelompok populasi, namun masih akan ada perbedaan yang cukup berarti antara berbagai macam masyarakat. Distribusi frekuensi secara statistik dari dimensi kelompok anggota masyarakat jelas dapat didekati dengan menggunakan distribusi normal, yaitu dengan menggunakan data persentil yang telah diduga, jika *mean* (rata-rata) dan standar deviasinya telah dapat diperkirakan.

### 2. Jenis kelamin

Secara distribusi statistik ada perbedaan yang berarti antara dimensi tubuh pria dan wanita. Untuk kebanyakan dimensi pria dan wanita ada perbedaan yang berarti di antara *mean* (rata-rata) dan nilai perbedaan ini tidak dapat diabaikan begitu saja. Karenanya data anthropometri untuk kedua jenis kelamin tersebut selalu disajikan secara terpisah.

### 3. Suku bangsa

Variasi di antara beberapa kelompok suku bangsa telah menjadi hal yang tidak kalah pentingnya terutama karena meningkatnya jumlah angka migrasi dari satu negara ke negara lain. Suatu contoh sederhana dan jelas bahwa di Australia yaitu dengan meningkatnya jumlah penduduk yang migrasi dari negara Vietnam untuk mengisi jumlah satuan angkatan kerja (*industrial workforce*).

### 4. Usia

Digolongkan atas beberapa kelompok usia yaitu : anak-anak, remaja, dewasa, dan lanjut usia. Hal ini sudah jelas berpengaruh terutama jika diinginkan rancang

bangun untuk anthropometri anak-anak. Anthropometrinya akan cenderung terus meningkat sampai batas usia dewasa. Setelah menginjak usia dewasa, tinggi badan manusia mempunyai kecenderungan untuk menurun yaitu antara lain disebabkan oleh berkurangnya elastisitas tulang belakang (*intervertebral disc*). Selain itu juga akan berkurangnya dinamika gerakan tangan dan kaki.

#### 5. Jenis Pekerjaan

Beberapa jenis pekerjaan tertentu menuntut adanya persyaratan dalam seleksi karyawan, seperti misalnya : buruh dermaga/pelabuhan adalah harus mempunyai postur tubuh yang relatif lebih besar dibandingkan dengan karyawan perkantoran pada umumnya.

#### 6. Pakaian

Hal ini juga merupakan sumber variabilitas yang disebabkan oleh bervariasinya iklim/musim yang berbeda dari satu tempat ke tempat yang lainnya terutama untuk daerah dengan empat musim. Misalnya pada waktu musim dingin manusia akan memakai pakaian yang relatif lebih tebal dan ukuran yang relatif lebih besar.

#### 7. Faktor Kehamilan Pada Wanita

Faktor ini sudah jelas akan mempunyai pengaruh perbedaan yang berarti kalau dibandingkan dengan wanita yang tidak hamil.

#### 8. Cacat Tubuh Secara Fisik

Suatu perkembangan yang menggembirakan pada dekade terakhir yaitu dengan diberikannya skala prioritas pada rancang bangun fasilitas akomodasi untuk para penderita cacat tubuh secara fisik sehingga mereka dapat ikut serta merasakan

"kesamaan" dalam penggunaan jasa dari hasil ilmu ergonomi di dalam pelayanan untuk masyarakat luas. Masalah yang sering timbul, misalnya : keterbatasan jarak jangkauan, dibutuhkan ruang kaki untuk rancang bangun meja kerja, lorong/jalur khusus untuk kursi roda dan lain-lain.

### 2.2.2. Persentil

Persentil adalah suatu nilai yang menyatakan persentase tertentu dari sekelompok orang yang dimensinya sama atau lebih rendah dari nilai tersebut (Nurmianto, 1991). Misalnya 95 persentil ukuran tinggi wanita adalah 160 cm, artinya adalah 95 % dari populasi mempunyai tinggi yang sama atau lebih rendah 160 cm dan hanya 5 % dari populasi yang mempunyai tinggi lebih dari 160 cm. Sebaliknya 5 persentil tinggi wanita adalah 155 cm, artinya 5 % dari populasi mempunyai tinggi yang sama atau lebih rendah dari 155 cm dan 95 % dari populasi mempunyai tinggi lebih dari 155 cm.

Persentil adalah suatu nilai yang menyatakan bahwa persentase tertentu sekelompok orang yang dimensinya sama atau lebih rendah dari nilai tersebut. Misalnya: 95% populasi adalah sama dengan atau lebih rendah dari sembilan puluh lima persentil; 5% dari populasi berarti sama dengan atau lebih rendah dari lima persentil. besarnya nilai persentil dapat ditentukan dari tabel probabilitas distribusi normal.

Dalam pokok bahasan anthropometri, 95 persentil menunjukkan tubuh berukuran besar, sedang 5 persentil menunjukkan tubuh berukuran kecil. Jika

diinginkan dimensi untuk mengakomodasikan 95% populasi, maka 2,5 dari 97,5 persentil adalah batas rentang yang dapat dipakai.

### **2.2.3. Aplikasi Data Anthropometri Dalam Perancangan Produk/Fasilitas**

Data anthropometri yang menyajikan data ukuran dari berbagai macam anggota tubuh manusia dalam persentil tertentu akan sangat besar manfaatnya pada saat suatu rancangan produk ataupun fasilitas kerja akan dibuat. Agar rancangan suatu produk bisa sesuai dengan ukuran tubuh manusia yang akan mengoperasikannya, maka prinsip-prinsip yang akan diambil dalam aplikasi data anthropometri harus ditetapkan terlebih dahulu.

Adapun prinsip aplikasi data anthropometri yang akan digunakan adalah:

- a. Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran ekstrim.
- b. Prinsip perancangan produk yang bisa dioperasikan di antara rentang ukuran tertentu.
- c. Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata.

#### **2.2.3.1. Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran ekstrim**

Di sini rancangan produk dibuat agar bisa memenuhi dua sasaran produk, yaitu:

1. Bisa sesuai untuk ukuran tubuh manusia yang mengikuti klasifikasi ekstrim dalam arti terlalu besar atau kecil bila dibandingkan dengan rata-ratanya.
2. Tetap bisa digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain (mayoritas dari populasi yang ada).

Agar bisa memenuhi sasaran pokok tersebut maka ukuran yang diaplikasikan ditetapkan dengan cara :

1. Untuk dimensi minimum yang harus ditetapkan dari suatu rancangan produk umumnya didasarkan pada nilai persentil yang terbesar seperti percentile ke-90, ke-95 atau ke-99.
2. Untuk dimensi maksimum yang harus ditetapkan diambil berdasarkan nilai persentil yang paling rendah seperti persentil ke-1, ke-5 atau ke-10 dari distribusi data anthropometri yang ada.

Secara umum aplikasi data anthropometri untuk perancangan produk atau pun fasilitas kerja akan menetapkan nilai persentil ke-5 untuk dimensi maksimum dan persentil ke-95 untuk dimensi minimum.

#### **2.2.3.2. Prinsip perancangan produk yang bisa dioperasikan di antara rentang ukuran tertentu.**

Di sini rancangan bisa diubah-ubah ukurannya sehingga cukup fleksibel dioperasikan oleh setiap orang yang memiliki berbagai macam ukuran tubuh. Untuk mendapatkan rancangan yang fleksibel, maka data anthropometri yang umum diaplikasikan adalah dalam rentang nilai persentil ke-5 sampai dengan persentil ke-95.

### 2.2.3.3. Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata.

Dalam hal ini rancangan produk di dasarkan terhadap rata-rata ukuran manusia. Problem pokok yang dihadapi dalam hal ini justru sedikit sekali mereka yang berada dalam ukuran rata-rata. Di sini produk dirancang dan dibuat untuk mereka yang memiliki ukuran ekstrim dan dibuat rancangan tersendiri.

Berkaitan dengan aplikasi data anthropometri yang diperlukan dalam proses perancangan produk ataupun fasilitas kerja, maka ada beberapa saran yang bisa diberikan sesuai dengan langkah-langkah seperti berikut:

1. Terlebih dahulu harus ditetapkan anggota tubuh yang mana yang akan difungsikan untuk mengoperasikan rancangan tersebut.
2. Menentukan dimensi tubuh yang penting dalam proses perancangan tersebut.  
Perlu diperhatikan apakah harus menggunakan data *structural body dimension* ataukah *functional body dimension*.
3. Menentukan populasi terbesar yang harus diantisipasi, diakomodasikan dan menjadi target utama pemakai rancangan produk tersebut.
4. Menetapkan prinsip ukuran yang harus diikuti, apakah rancangan tersebut untuk ukuran individual yang ekstrim, rentang ukuran yang fleksibel ataukah ukuran rata-rata.
5. Memilih prosentase populasi yang harus diikuti.
6. Untuk setiap dimensi tubuh yang telah diidentifikasi selanjutnya ditetapkan nilai ukurannya dari tabel data anthropometri yang sesuai, bila perlu ditambahkan faktor kelonggaran.

## **2.3. Anatomi Manusia**

### **2.3.1. Kerangka**

Kerangka manusia terdiri dari 206 potong tulang. Kerangka ini merupakan pola dari badan manusia. Sedangkan fungsi dari kerangka antara lain : memberi bentuk tubuh, melindungi bagian-bagian tubuh yang lemah atau lunak, dan juga sebagai tempat melekatnya daging dan otot.

Kerangka terdiri dari atas dua sistem unkit, yaitu lengan dan kaki yang dihubungkan oleh sebuah kolom tulang punggung. Untuk melakukan tugas unkit, tulang-tulang tersebut dipertalikan oleh sendi-sendi yang dilapisi tulang rawan, sehingga tidak mencederai tulang pokoknya. Tenaga untuk mengungkit dihasilkan oleh otot yang mengencang (konstraksi) sehingga menimbulkan gerakan.

### **Tulang Punggung (*Spine*)**

Tulang punggung menghubungkan tulang-tulang bagian atas dan tulang-tulang bagian bawah. Kolom tulang punggung terdiri dari beberapa ruas *vertebra*, yang dibagi menjadi 7 cervical, 12 thoracic, 5 lumbar, sacrum dan coccyx. Bentuk tulang punggung serta bagian-bagiannya dapat dilihat pada gambar 2.4.

### **Tulang Pinggul**

Tulang pinggul terdiri dari tiga bagian besar, yaitu : ilium, pubis, dan ischial.



### **Tulang Lengan**

Lengan dibagi menjadi dua bagian, yaitu lengan atas dan lengan bawah. Lengan atas terdiri dari satu tulang yaitu humerus, sedangkan lengan bawah terdiri dari dua tulang yaitu radius yang terletak lurus dengan ibu jari dan ulna yang terletak lurus dengan jari kelingking.

### **Tulang Tangan**

Tulang tangan dimulai dari pergelangan, yang disambung dengan tulang lengan, karpal, dan terakhir adalah ruas-ruas jari.

### **Tulang Kaki**

Kaki terdiri dari tiga bagian, yaitu paha, betis, dan telapak kaki. Tulang pada bagian paha adalah femur. Tulang pada bagian betis ada dua yaitu fibula dan tibia. Sedangkan antara paha dan betis dihubungkan oleh tulang patella (lutut). Dan tulang telapak kaki ada tiga yaitu tarsal, metatarsal, dan phalanges. Sedangkan antara betis dan telapak kaki dihubungkan oleh tulang malleolus.

#### **2.3.2. Batas-Batas Gerakan Tubuh**

Ada beberapa istilah yang berkaitan dengan gerakan-gerakan tubuh manusia yaitu :

- fleksi, membengkokkan atau memperkecil sudut antara bagian-bagian tubuh
- ekstensi, meluruskan atau memperbesar sudut antara bagian-bagian tubuh

- abduksi, menjauh dari pusat tubuh
- adduksi, menuju ke pusat tubuh
- endorotasi, memutar lengan ke arah dalam
- eksorotasi, memutar lengan ke arah luar
- posterior, bagian belakang
- anterior, bagian depan
- pronasi, memutar lengan bawah sehingga telapak tangan menghadap ke bawah
- supinasi, memutar lengan bawah sehingga telapak tangan menghadap ke atas
- lateral bending, menghindar ke samping dari pusat tubuh
- rotasi, gerakan memutar pada bidang horisontal.

#### **2.4. Pengertian Kenyamanan**

Kenyamanan adalah suatu konsep yang subyektif yang sulit diukur dan didefinisikan. Walaupun ada beberapa ahli yang mencoba untuk meneliti dan membuat suatu definisi tentang kenyamanan, namun sampai sekarang belum ada suatu kesepakatan pendapat yang jelas tentang pengertian kenyamanan ini.

Beberapa ahli menyatakan bahwa hal yang mungkin dilakukan untuk mengetahui kenyamanan tersebut adalah dengan melakukan identifikasi keadaan tidak nyaman (*discomfort*). Usaha-usaha untuk mengurangi atau menghilangkan keadaan *discomfort* ini akan membawa kita mendekati keadaan *comfort*.

Branton (1972), menyatakan bahwa dari segi kesehatan tidak ditemukan terminologi tentang kenyamanan. Yang mungkin dilakukan hanyalah

mengukur derajat dari keadaan tidak nyaman. Dengan mengurangi faktor-faktor ketidaknyamanan maka akan diperoleh keadaan nyaman.

Richard (kamus Oxford) mendefinisikan kenyamanan sebagai kepuasan penumpang selama perjalanan. Sedangkan Marys (1959), menyatakan bahwa kenyamanan berkendara adalah pengalaman yang dirasakan oleh pengemudi dan penumpang selama perjalanan yang meliputi faktor fisiologi dan psikologi yang merupakan faktor timbal balik dengan lingkungannya. Faktor ini memberikan kontribusi yang cukup penting di dalam tingkat kenyamanan berkendara.

Michel Waterhouse menyatakan bahwa kenyamanan berkendara berkaitan dengan pengalaman harian, tetapi pengalaman di masa lalu sulit dinyatakan dalam angka.

## 2.5. Sikap duduk

Posisi duduk yang benar adalah dengan mengikuti beberapa petunjuk berikut:

- a) Kemampuan untuk menghilangkan postur duduk yang tidak normal.
- b) Dapat mengurangi konsumsi energi.
- c) Melancarkan sistem aliran darah.
- d) Dapat mengurangi tekanan antar ruas tulang punggung (*intradiscal pressure*).

Bila posisi duduk kurang baik, maka kemungkinan akan terjadi keluhan-keluhan yang meliputi:

- a) Keluhan kepala.

- b) Keluhan leher dan bahu.
- c) Keluhan pinggang.
- d) Keluhan pantat.
- e) Keluhan lengan dan tangan.
- f) Keluhan lutut dan kaki.
- g) Keluhan paha.

Pada umumnya keluhan-keluhan utama adalah sakit pinggang, sakit di leher, bahu, lengan dan tangan.

## **2.6. Kursi**

Pheasant (1986) menyatakan bahwa fungsi dari kursi adalah sebagai penyangga tubuh manusia untuk menjaga kestabilan tubuh pada saat duduk, agar didapatkan keuntungan sebagai berikut:

- a) Memberikan kenyamanan untuk suatu periode tertentu.
- b) Menghasilkan kepuasan secara fisiologis.
- c) Sesuai untuk jenis aktivitas tertentu.

Tempat duduk dibuat sedemikian rupa sehingga orang yang duduk di atasnya dapat duduk dengan mantap dan otot-ototnya relaks dan tidak terjadi penekanan-penekanan pada bagian tubuh yang dapat mengganggu sirkulasi darah.

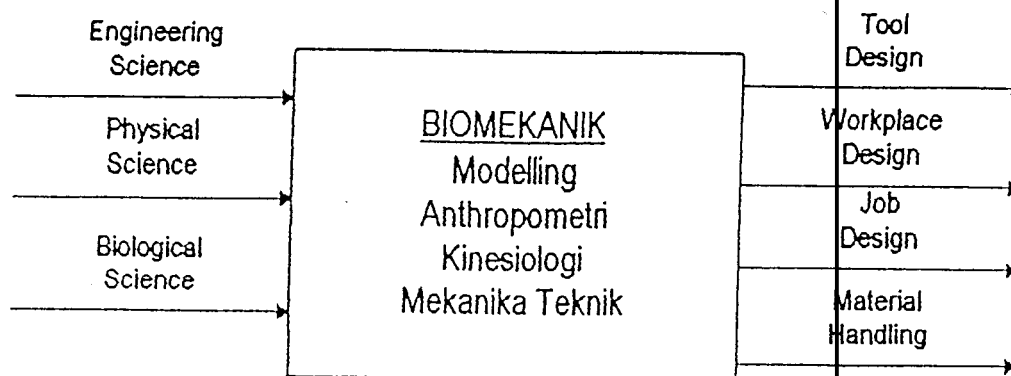
## **2.7. Biomekanik**

### **2.7.1. Pengertian Biomekanik**

Biomekanik berkaitan dengan elemen-elemen mekanik makhluk hidup. Perhatian biomekanik tertuju pada karakteristik mekanis dan gerakan dari tubuh manusia beserta segmen-segmen tubuhnya. Sehingga Chaffin dan Anderson mendefinisikan biomekanik sebagai suatu disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara pekerja dengan peralatan, serta ruang kerja mereka untuk memperbaiki performance sekaligus meminimalkan kemungkinan kecelakaan pada tulang atau otot.

Sebagai suatu disiplin ilmu, biomekanik menerima input dari berbagai disiplin, mempunyai metode analisa dan output tertentu. Hal ini dapat dilihat pada gambar.2.1. Penggunaan teknik kuantitatif diambil dari disiplin ilmu keteknikan. Ilmu fisika memberikan informasi mengenai keseimbangan dan gerakan-gerakan secara fisik. Ilmu biologi memberikan dasar-dasar anatomi dan fisiologi. Sebagai metode analisa, model digunakan untuk skala yang lebih kecil. Anthropometri menyediakan dimensi ukuran tubuh manusia dan segmen-segmennya, termasuk massa dan pusat gravitasi. Kinesiologi menjelaskan tentang gerakan manusia. Dengan kinesiologi, gerakan segmen tubuh dapat digambarkan dengan baik.

Dari hasil analisa biomekanik dapat dimanfaatkan untuk merancang alat, merancang tempat kerja, merancang metode kerja, dan merancang fasilitas material handling.



Gambar 2.1. Model sistem input output biomekanik (Pulat, 1992)

Dasar dari biomekanik adalah hukum Newton. Tiga teori yang berkenaan dengan hal ini adalah :

1. Suatu massa akan tetap diam atau bergerak beraturan jika tidak ada gaya yang bekerja padanya.
2. Gaya yang timbul berbanding lurus dengan percepatan massa tersebut.
3. Suatu gaya aksi akan menimbulkan gaya reaksi dengan besar yang sama tetapi arahnya berlawanan.

### 2.7.2. Model Biomekanik

Menurut Chaffin dan Anderson ada tiga model biomekanik, yaitu: model statis satu segmen, model statis dua segmen, dan model punggung.

### 2.7.2.1. Model Statis Satu Segmen

Di sini diberikan satu contoh seorang operator memegang beban dengan massa 20 kg dengan kedua tangannya. Operator termasuk dalam 50 percentile pria. Tentukan besar dan arah gaya dan momen puntir yang dialami oleh siku. Gambar 2.2 menggambarkan keadaan ini. Berat beban dapat dihitung sebagai berikut:

$$W = m \cdot g$$

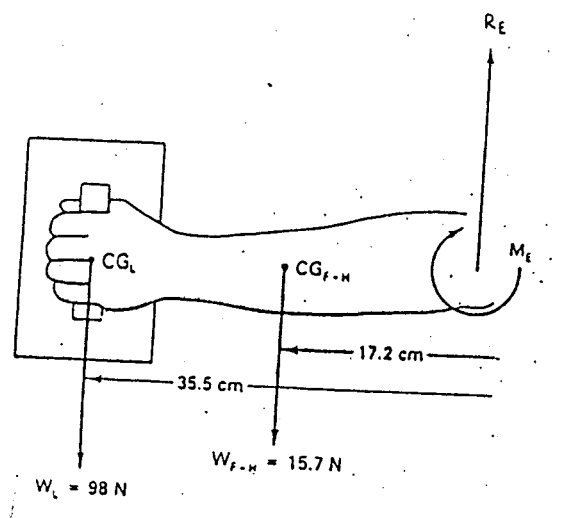
Di mana :  $W$  = berat badan (Newton)

$m$  = massa beban (kg)

$g$  = gaya gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

Sehingga diperoleh:

$$W = (20 \text{ kg}) (9,8 \text{ m/s}^2) = 196 \text{ N}$$



Gambar 2.2. Model statis satu segmen.

Beban setiap tangan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sum F = 0$$

$$-196 + 2R_H = 0$$

$$R_H = 98 \text{ N}$$

Untuk 50 persentil pria, memberikan jarak 17,2 cm (dari siku ke pusat gravitasi lengan bawah) dan 35,5 cm (jarak antara beban dan pusat gravitasi). Sedangkan massa lengan bawah adalah  $W_{F+H} = 15,7 \text{ N}$ .

Gaya reaksi dari siku ( $R_E$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sum F = 0$$

$$-98 \text{ N} - 15,7 \text{ N} + R_E = 0$$

$$R_E = 113,7 \text{ N}$$

Sedangkan momen puntir pada siku dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sum M = 0$$

$$(-98 \text{ N})(0,355 \text{ m}) + (-15,7 \text{ N})(0,172 \text{ m}) + M_E = 0$$

$$M_E = 37,5 \text{ Nm}$$

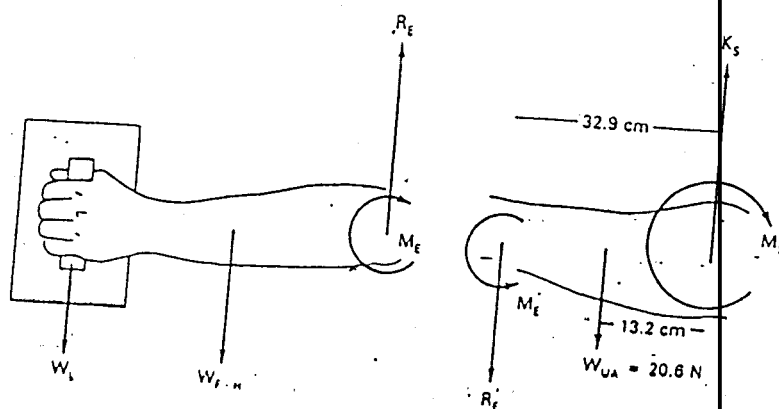
Perhitungan di atas dibuat dengan menggunakan Hukum Newton yang berkaitan dengan gaya reaksi dan momen. Untuk posisi statis, jumlah gaya dan momen sama dengan nol sehingga dinamakan kondisi kesetimbangan.

#### 2.7.2.2. Model Statis Dua Segmen

Model ini berguna untuk menganalisa dua segmen tubuh dalam keadaan statik. Gambar 2.3 menggambarkan *free body diagram*, di mana



diketahui  $R_E = 113,7 \text{ N}$  dan  $M_E = 37,5 \text{ Nm}$ . Untuk 50 persentil pria diketahui massa lengan atas adalah  $20,6 \text{ N}$ , jarak siku dengan bahu  $32,9 \text{ cm}$  dan jarak pusat gravitasi lengan atas dengan bahu  $13,2 \text{ cm}$ .



Gambar 2.3. Model statis dua segmen.

$$\sum F = 0$$

$$-R_E - W_{UA} + R_S = 0$$

$$-133,7 - 20,6 + R_S = 0$$

$$R_S = 134,3 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_S = (0,132 \text{ m}) (20,6 \text{ N}) + (0,329 \text{ m}) (113,7 \text{ N}) + (37,5 \text{ Nm})$$

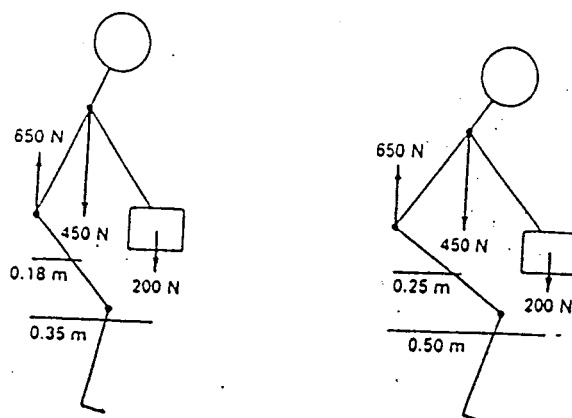
$$M_S = 77,6 \text{ Nm}$$

Di mana  $R_S$  = gaya yang dialami bahu

$M_S$  = momen puntir yang dialami bahu

### 2.7.2.3. Model Punggung

Model ini dapat menggambarkan bahwa punggung terutama punggung bagian bawah, tidak dapat dihindarkan dari beban yang diterima. Gaya tekan, gaya geser, dan momen bending dapat dikembangkan di sini. Tulang punggung bagian atas juga memiliki kontribusi untuk melakukan gaya reaksi dan momen. Postur sangat penting dalam mengevaluasi beban pada punggung bagian bawah. Model ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Model punggung.

## 2.8. Komponen-komponen Fisik dan Fungsi-fungsi Biomekanik Tulang

### Belakang

Tulang belakang tersusun dari 3 (tiga) macam komponen yaitu: sendi antar tulang belakang (*intervertebral disc*), jaringan ikat (*ligament*), dan ruas-ruas tulang belakang (*vertebral*).

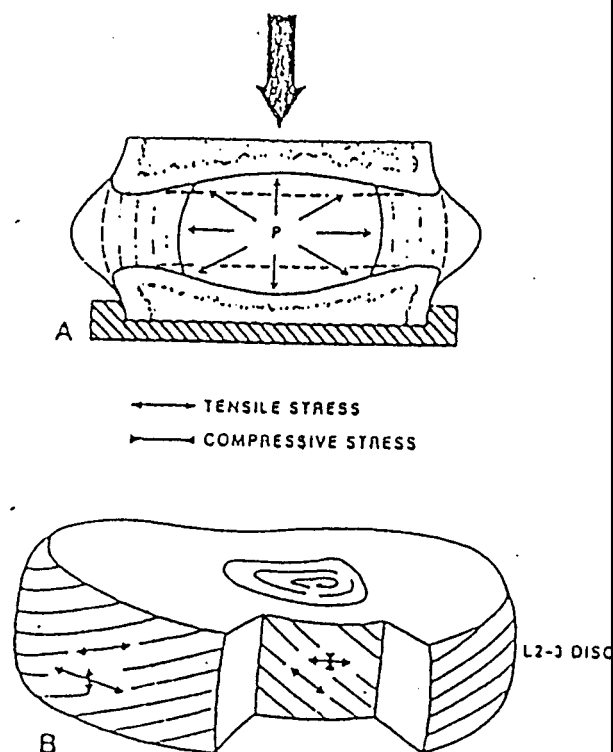
### 2.8.1. Sendi Antar Tulang Belakang (*intervebral disc*)

Menurut Gracovetsky (1981), tulang belakang tersusun dari komponen-komponen yang tidak homogen dengan bentuk yang berbeda satu sama lain, di mana sifat mekanis yang dimilikinya sangat tergantung pada kompleksitas beban yang diberikan padanya. Sendi antar tulang belakang (*intervetebral disc*) mempunyai banyak fungsi, salah satu diantaranya adalah sebagai penahan berbagai gaya dan momen. White III dan Panjabi (1978) mengelompokkan fungsi biomekanik dari komponen ini ke dalam 4 (empat) jenis yaitu : tekanan (*compression*), tegangan (*tension*), tekukan (*bending*), dan geseran (*shear*).

#### 2.8.1.1. Tekanan (*compression*)

Beban kompresi dipindahkan dari satu ruas belakang ke ruas yang lainnya lewat inti vertebral disc (*annulus fibrosus*). Jika suatu beban dikenakan, maka akan mengakibatkan terjadinya tekanan dalam nukleus. Tekanan fluida ini akan mendorong struktur-struktur disekitarnya ke segala arah dari pusat nukleus tersebut (Kulak, 1976). Kompresi/tekanan ini menghasilkan tegangan yang kompleks dalam lapisan pembungkus intervertebral disc yang berbentuk lingkaran (*annulus ring*). Tegangan dalam berbagai arah yang ada pada bagian luar dan dalam dari *annulus* ditunjukkan dalam gambar 2.5. Kompresi tersebut menghasilkan tekanan dalam nukleus. Tekanan ini mendorong dua ruas tulang belakang yang mengapitnya. Sendi akan menonjol ke luar dalam arah

horizontal, dan ruas tulang belakang akan mengalami defleksi dalam arah aksial.



Gambar 2.5. Gaya tekan pada sendi antar tulang belakang.

A. Tekanan yang dihasilkan dalam nukleus.

B. Variasi berbagai tegangan dengan besar dan arah yang berbeda pada annulus (lapisan pembungkus *intervertebral disc*)

Selain annulus juga mengalami berbagai macam tegangan (*stress*) dengan besar dan arah yang berbeda-beda. Sebagian besar tegangan tarik (*tensile strength*) tersebut berada pada bagian luar dengan arah tangensial ke sekelilingnya, sebagian kecil dalam arah aksial.

#### 2.8.1.2. Tegangan (*tension*)

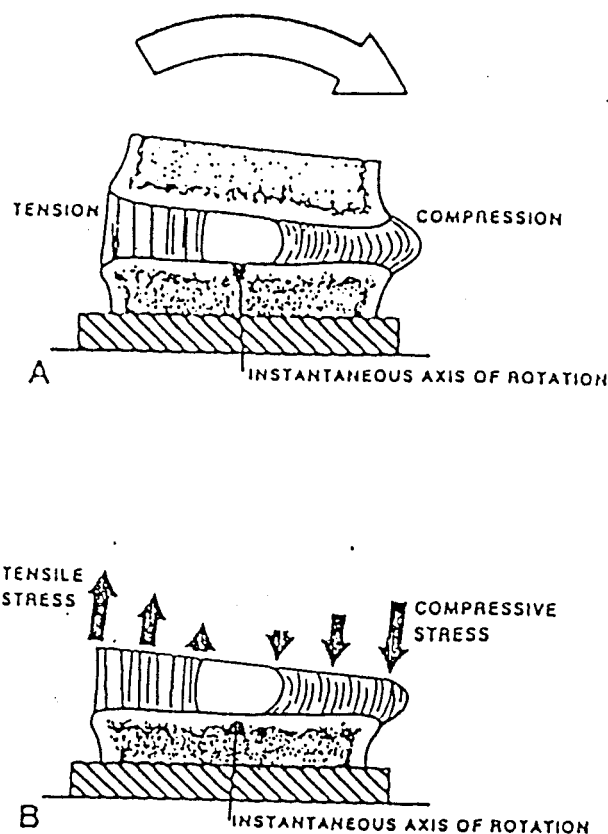
Ada dua tipe tegangan yang berguna untuk menahan adanya beban tarik, yaitu: gaya normal dan geser. Kedua tipe tegangan ini berada pada bagian annulus. Gaya normal adalah suatu gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus dengan bidang sendi, sedangkan gaya geser mempunyai arah sejajar.

#### 2.8.1.3. Tekukan (*Bending*)

Bila beban tekukan (*bending*) dikenakan pada tulang belakang, maka sendi antar tulang belakang (*intervetebral disc*) akan mengalami gaya tekan (*compression*) di satu sisi dan gaya tarik (*tensile stress*) di sisi yang lain. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.6.

Perputaran sendi yang terjadi seketika akibat beban bending seolah-olah memisahkan sendi menjadi dua bagian. Sendi akan berkontraksi pada bagian yang mengalami tegangan tarik, sedangkan bagian yang mengalami kompresi akan menonjol keluar.

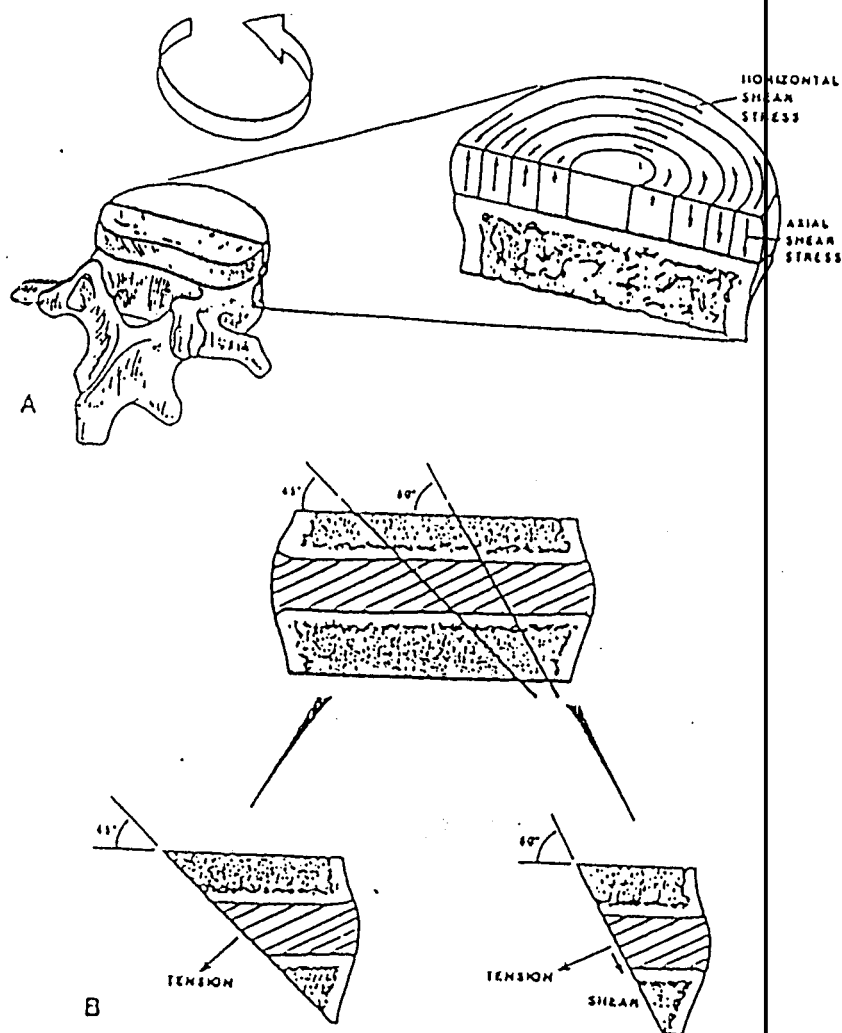
Berbagai macam tegangan tersebut mempunyai nilai yang bervariasi dari nol pada pusat perputaran sendi yang terjadi tersebut sampai maksimum pada bagian luar annulus. Sehingga beban bending dapat dianggap sebagai kombinasi dari beban tarik dan tekan, di mana setiap beban tersebut dikenakan pada setengah bagian sendi.



Gambar 2.6. *Intervertebral disc* saat menerima *bending*; (A) setengah bagian sendi mengalami tegangan tarik, bagian yang lain mengalami kompresi selama bending berlangsung; (B) Variasi besarnya tegangan dari nol pada pusat rotasi sampai maksimum pada bagian luar sendi.  
(White III dan Panjabi, 1978; Nurmianto, 1991)

#### 2.8.1.4. Gaya Geser (*shear*)

Gaya ini bekerja pada bidang horisontal sehingga menghasilkan tegangan geser yang mempunyai arah sejajar dengan gaya geser yang dikenakan. Adanya tegangan tarik dan tegangan kompresi pada sudut sekitar 45 derajat dari bidang horisontal juga dapat dijelaskan di sini. Keadaan tersebut sama dengan beban torsi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Tegangan-tagangan pada sendi akibat beban torsi. (A) Tegangan geser akibat torsi; (B) Sudut torsi yang berbeda yang diterima sendi. (White III dan Panjabi, 1978; Nurmianto, 1991)

Tegangan geser pada sendi dihasilkan oleh beban puntiran (torsi). Tegangan geser ini bekerja dalam arah aksial dan horisontal dengan besar yang sama.

Pada sudut 60 derajat dari bidang sendi, sejajar dengan serabut annulus, ditunjukkan dua macam tegangan yaitu: normal dan geser. Tegangan normal ditahan oleh serabut annulus. Sedangkan pada sudut 45 derajat, tegangan-tegangan tersebut berupa tegangan normal saja dan tidak ditemui adanya tegangan geser.

#### **2.8.2. Jaringan Ikat (Ligamen)**

Ada tujuh macam jaringan ikat dari tulang belakang (gambar 2.8A, 2.8B, 2.8C). Jaringan ikat ini mempunyai fungsi menyambung satu ruas tulang belakang dengan ruas lainnya. Jaringan ikat tersebut secara bersama-sama menjaga kestabilan tulang belakang dalam melakukan berbagai gerak fisik.

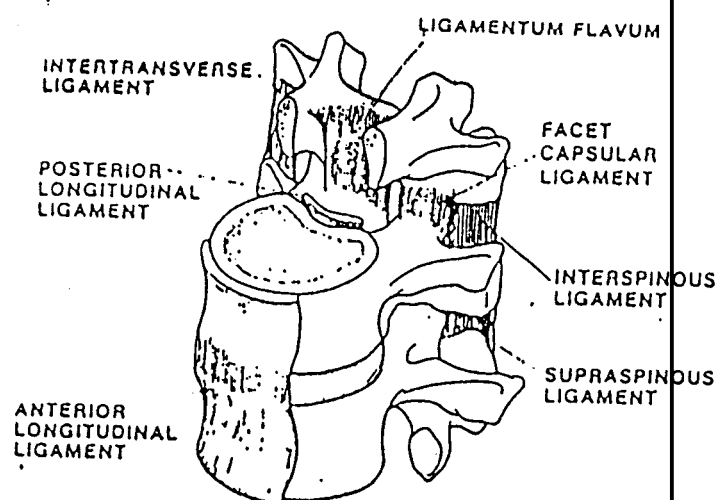
Jaringan ikat-jaringan ikat ini dibagi dalam dua bagian, yaitu bagian depan (anterior element) dan bagian belakang (posterior element). Bagian depan terdiri dari :

1. anterior longitudinal ligament
2. anterior half of the annulus fibrosus
3. radiate and costovertebral ligament
4. posterior half of the annulus fibrosus
5. posterior ligament

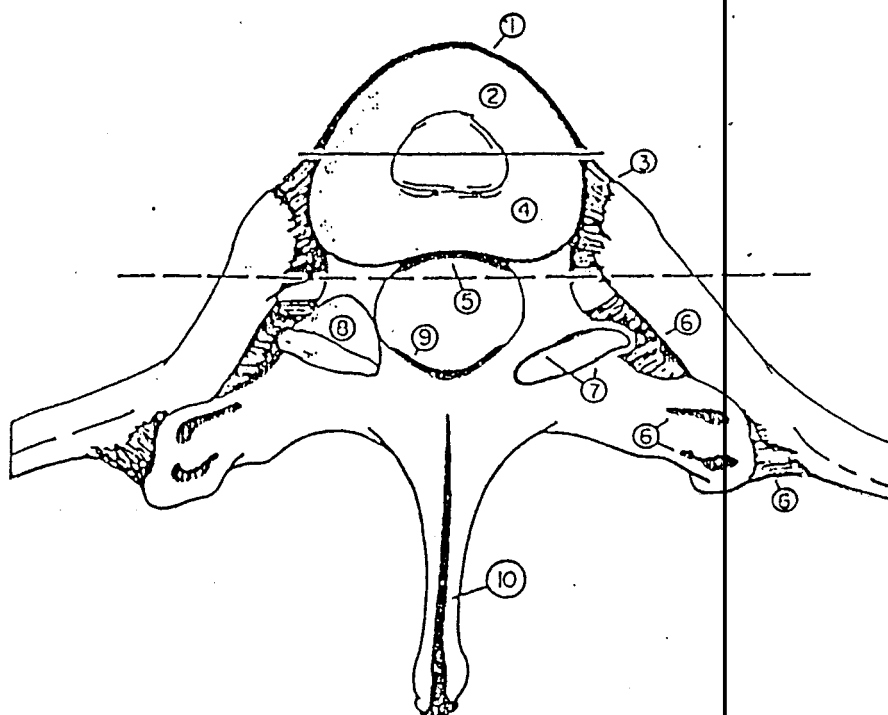


Bagian belakang terdiri dari:

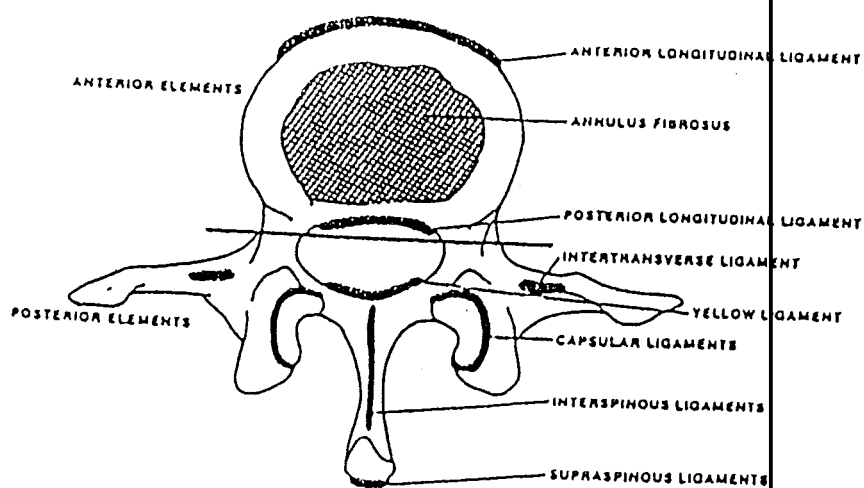
1. costotransverse and intertransverse ligament
2. capsular ligament
3. facet articulation
4. ligamentum flavum
5. supraspinous and interspinous ligament



Gambar 2.8A. Tujuh macam ligamen.  
(White III dan Panjabi, 1978; Nurmianto, 1991)



Gambar 2.8B. Skema ligamen-ligamen utama yang ada pada thoracic.  
(White III dan Panjabi, 1978; Nurmianto, 1991)



Gambar 2.8C. Skema ligamen-ligamen utama yang ada pada lumbar.  
(White III dan Panjabi, 1978; Nurmianto, 1991)

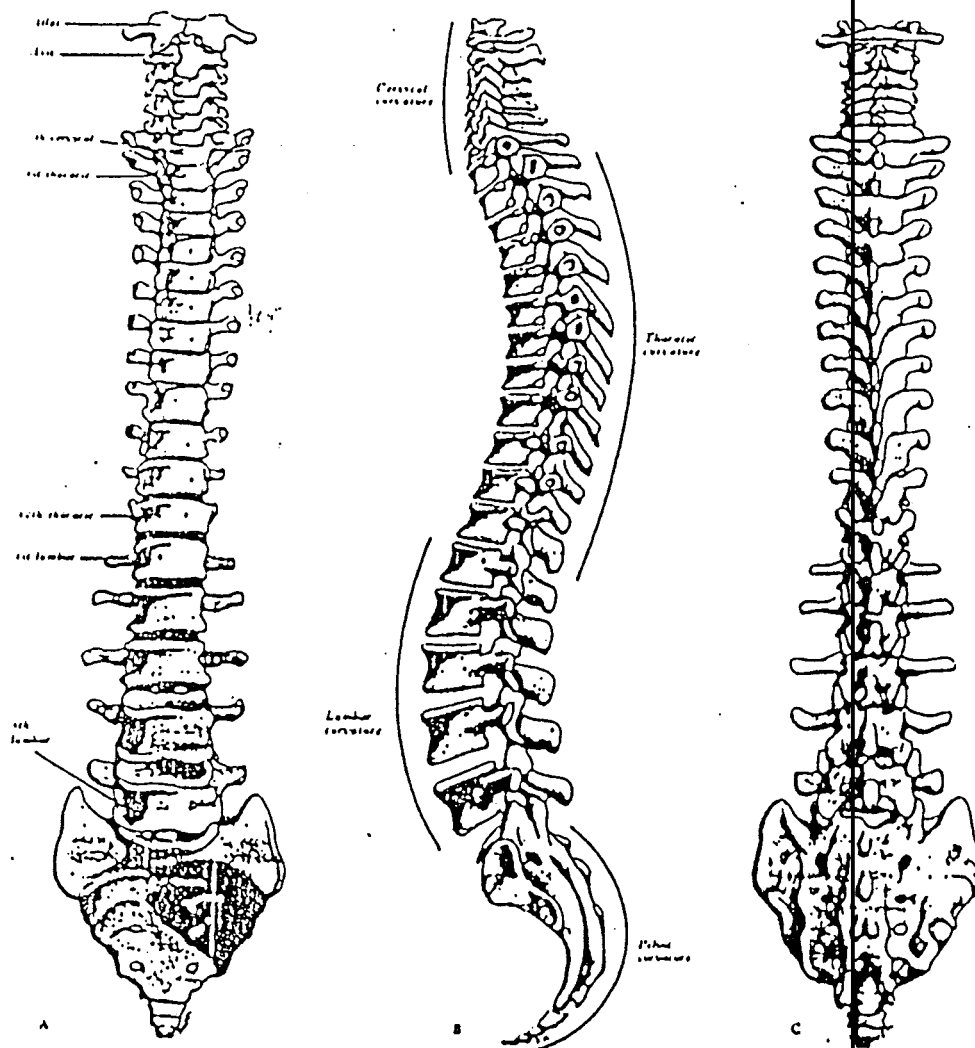
### 2.8.3. Ruas-ruas Tulang Belakang (*vertebra*)

Ruas tulang belakang tersusun dari sekumpulan tulang bagian depan (*anterior block of bone*), badan (*body*), dan tulang berbentuk cincin pada bagian belakang (*posterior body ring*). Pola gerakan tulang tergantung pada bentuk dan posisi sambungan antar tulang. Menurut jenis sambungan antar tulang, maka tulang belakang termasuk synarthrosis yaitu sambungan antar tulang yang gerakannya sangat terbatas.

### 2.8.4. Bagian Fungsional Tulang Belakang (*Functional Spinal Unit/FSU*)

FSU adalah bagian terkecil dari tulang belakang yang menunjukkan karakteristik biomekanik yang mirip dengan keseluruhan tulang belakang. Menurut White III dan Panjabi (1978), FSU terdiri dari dua ruas tulang belakang yang berdekatan, dan jaringan ikat yang menghubungkan keduanya.

Selanjutnya, ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar dapat memahami fungsi tulang belakang yaitu : mengetahui kolom-kolom tulang belakang secara keseluruhan dan mengetahui perbedaan karakteristik dari bagian yang berlainan. Kolom-kolom tulang belakang (gambar 2.9) terdiri dari tujuh cervical, dua belas thoracic, lima lumbar serta sacrum dan coccyx. Bentuk cervical dan lumbar melengkung ke depan, sedang thoracic melengkung ke belakang.



Gambar 2.9. Kolom-kolom tulang belakang.  
(Gray, 1989; Nurmianto, 1991)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Identifikasi Permasalahan**

Identifikasi permasalahan perlu dilakukan karena berhubungan dengan hakekat tujuan pelaksanaan penelitian. Jadi permasalahan yang diteliti, benar-benar perlu dicarikan pemecahannya. Akar permasalahan yang bisa ditelusuri adalah bahwa dengan semakin meningkatnya taraf perekonomian masyarakat maka keperluan akan sarana transportasi yang memadahi untuk memperlancar mobilitas manusia dalam segala hal yang dilakukannya, menjadi sangat vital. Hal ini berarti terjadi pergeseran fungsi kendaraan khususnya kendaraan roda empat dari sarana pemenuhan prestise menjadi kebutuhan yang mendesak untuk dipenuhi.

Mengantisipasi kebijakan pemerintah tentang mobil nasional yang memungkinkan harga jual sedan menjadi sedemikian murah, maka penelitian dilakukan terhadap mobil sedan, terutama terhadap faktor keamanan dan kenyamanan yang bisa didekati dengan studi ergonomi khususnya dengan analisa biomekanik.

Suatu kenyataan pula bahwa pengemudi kendaraan roda empat pada saat ini demikian bervariasi baik dalam umur maupun jenis kelamin, di mana pengemudi usia remaja maupun wanita lazim kita jumpai. Hal ini secara fisiologis anatomis memerlukan pertimbangan khusus dalam perencanaan kendaraan agar kendaraan yang dibuat dapat menampung semua perbedaan itu.

### 3.2. Tujuan Penelitian

Agar penelitian yang dilakukan mempunyai nilai kemanfaatan, maka perlu ditetapkan tujuan penelitian, realistis sesuai dengan batasan dan asumsi penelitian. Berdasarkan batasan dan asumsi yang ada dalam penelitian ini maka tujuan penelitian yang diharapkan adalah :

1. Memberikan masukan kepada industri otomotif, khususnya yang berkaitan dengan rancang bangun interior kendaraan bermotor roda empat, dengan mempertimbangkan nilai-nilai keergonomisan rancangan.
2. Merekomendasikan postur duduk yang dapat mereduksi kelelahan akibat beban statis khususnya bagi pengemudi dan juga bagi penumpang kendaraan bermotor roda empat.
3. Memberikan sumbangan terhadap usaha-usaha pengurangan kecelakaan lalu-lintas, khususnya dari faktor yang bersumber dari *human errors*

### 3.3. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memahami teori-teori maupun konsep-konsep tentang ergonomi, biomekanik, dan disiplin-disiplin ilmu lain yang berhubungan dengan permasalahan yang ada. Dari sini permasalahan yang ada diharapkan dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.

### **3.4. Penetapan variabel penelitian**

Fokus utama penelitian terletak pada postur duduk mengemudi kendaraan bermotor roda empat. Dalam postur duduk seorang pengemudi, terdapat berbagai macam kemungkinan posisi mengemudi. Dalam penelitian tugas akhir ini, variabel penelitian utama adalah perubahan berbagai macam sudut sandaran kursi pengemudi, yang akan berpengaruh pula terhadap perilaku berbagai variabel lain sebagai input data dalam analisa ergonomi biomekanik.

### **3.5. Pemilihan kendaraan amatan**

Kendaraan yang diteliti dalam hal ini adalah kendaraan bermotor roda empat tipe sedan. Ada beberapa merek yang ada di dalam pasaran, tetapi dalam penelitian ini hanya satu merek sedan yang diamati yaitu Toyota All New Corolla, dengan pertimbangan bahwa merek ini cukup populer dan memiliki pangsa pasar yang terbesar (statistik penjualan kendaraan bermotor tipe sedan tahun 1995 dapat dilihat pada lampiran 1).

### **3.6. Observasi kendaraan**

Observasi yang dilakukan berupa pengukuran langsung terhadap dimensi geometris kendaraan dengan alat ukur mistar gulung terhadap beberapa dimensi yang dianggap berkaitan dengan tujuan penelitian. Selain itu juga diambil beberapa foto berbagai posisi mengemudi dan juga posisi duduk penumpang sebagai dasar penentuan postur yang akan dianalisa.

### **3.7. Ruang Pengemudi**

Dalam kabin pengemudi dilakukan pengukuran langsung terhadap berbagai dimensi yang berhubungan dengan tugas seorang pengemudi, berupa kursi dan alat-alat kontrol yang ada seperti pedal kopling, pedal gas, pedal rem, tuas persneling yang kesemuanya itu diukur dalam satuan milimeter. Hasil pengukuran dicatat dalam gambar teknik yang bisa memuat semua dimensi yang diukur.

### **3.8. Data Anthropometri**

Dengan mengasumsikan bahwa dimensi tubuh orang Indonesia sama dengan dimensi tubuh orang Hongkong, maka data antropometri yang digunakan sebagai dasar analisa adalah data anthropometri orang Hongkong, diambil dari data penelitian yang telah dilakukan oleh Pheasant, (1989).

### **3.9. Data Anthropometri Pria Persentil ke-95, Wanita Persentil ke-5**

Nilai-nilai data anthropometri dalam jangkauan ini memiliki jangkauan terbesar sebagai acuan dalam perancangan yang biasa digunakan. Nilai data anthropometri pria 95 persentil dan wanita 5 persentil dijadikan tolak ukur dalam analisa ergonomi anthropometri untuk menilai kelayakan ergonomi rancangan yang sudah ada. Jangkauan data anthropometri ini pula yang akan digunakan sebagai acuan perancangan ulang bila rancangan yang sudah ada sesuai dengan analisa ergonomi anthropometri yang dilakukan dinilai kurang memenuhi kelayakan ergonomi.



### **3.10. Data Anthropometri Model**

Data anthropometri model ini diperlukan di dalam analisa biomekanik. Secara khusus data terpenting yang diperlukan dari model adalah data berat badan model tersebut. Penentuan komponen berat bagian tubuh yang lain yang diperlukan juga di dalam analisa biomekanik untuk postur duduk, seperti data mengenai berat lengan atas, berat kepala, berat batang tubuh (*trunk*) ditentukan berdasarkan rekomendasi untuk prosentase segmen tubuh yang dikeluarkan oleh Universitas New South Wales, Australia (dapat dilihat pada tabel lampiran 2).

### **3.11. Dimensi Geometris Interior Kendaraan**

Dimensi geometris interior kendaraan yang dimaksud di sini adalah dimensi dalam ruangan, khususnya yang terkait dengan penelitian, terukur baik dalam satuan panjang maupun derajat. Karena penelitian dititikberatkan pada postur duduk pengemudi sedan empat pintu All New Corolla SE-G (M/T), maka bagian interior kendaraan yang diukur berfokus pada kursi pengemudi dan alat kontrol dalam kendaraan yang berhubungan dengan fungsi kerja pengemudi.

### **3.12. Analisa Ergonomi Anthropometri**

Analisa ini dilakukan untuk menilai kelayakan ergonomi rancangan yang sudah ada. Analisa berdasar pada data anthropometri pria 95 persentil, untuk

menetapkan ukuran maksimum dan data anthropometri wanita 5 persentil untuk menetapkan ukuran minimum.

### 3.13. Studi Biomekanik

Analisa yang dilakukan dalam studi biomekanik ini adalah analisa terhadap intervertebral disc dan vertebral, terhadap berbagai macam posisi duduk mengemudi dan sebuah posisi duduk penumpang. Analisa intervertebral disc, yang menganalisa gaya-gaya pada penghubung antar sendi, mempresentasikan gaya normal, gaya geser dan momen bending. Analisa vertebral mempresentasikan gaya vertikal dan horisontal yang bekerja pada sendi.

Kedua analisa tersebut dilakukan terhadap postur duduk. Dalam posisi duduk ini komponen-komponen gaya yang bekerja adalah gaya yang bekerja pada sandaran, gaya pada alas kursi, dan berat tubuh yang ditanggung oleh kursi tersebut. Gaya pada sandaran dan alas kursi membentuk sudut tertentu terhadap sandaran dan alas, sedemikian rupa sehingga membentuk keseimbangan dengan gaya dari berat tubuh yang ditanggung kursi.

Postur duduk dalam mengemudi mempunyai karakteristik tersendiri dibandingkan postur duduk biasa, karena bagian tubuh yang lain dalam mengemudi ini terlibat dalam fungsi kerja, tangan memegang kemudi dan kaki mengatur kerja pedal-pedal kontrol. Posisi kaki menentukan bentuk tulang belakang yang menjadi titik pusat analisa. Dalam hal ini ada banyak kemungkinan postur, untuk membatasi jumlah postur, rekomendasi dari Pheasant (1986) tentang sikap duduk yang benar

menjadi dasar penentuan sampel posisi duduk yang bagaimanakah yang akan diamati.

Perubahan kemiringan setiap ruas tulang belakang sangat berpengaruh terhadap beban kerja yang diterima oleh punggung secara keseluruhan. Hal ini telah diantisipasi perencana desain interior kendaraan dengan merancang kursi pengemudi yang sudut sandarannya dapat disesuaikan dengan keinginan pengguna. Berdasarkan kondisi yang demikian, penelitian dilakukan untuk menentukan sudut sandaran yang optimal mereduksi kelelahan punggung ditinjau dari beban kerja yang diderita oleh setiap ruas tulang belakang.

Dalam penelitian ini sampel sudut sandaran kursi pengemudi adalah untuk sudut  $90^0$ ,  $100^0$ ,  $105^0$ ,  $110^0$  relatif terhadap alas kursi. Tahap-tahap analisa biomekanik yang dilakukan dalam hal ini diterangkan sebagai berikut:

#### **3.13.1. Pengumpulan Data Unit Fungsional Tulang Belakang**

Data-data mengenai jari-jari sendi, tinggi ruas tulang belakang dan lengan momen ligamen akan digunakan sebagai masukan dalam analisa gaya-gaya pada vertebra. Sedangkan data berat ruas vertebra akan digunakan sebagai masukan dalam analisa gaya-gaya pada intervertebra.

#### **3.13.2. Gambar Postur**

Gambar postur adalah salinan dari gambar foto, terutama untuk menggambarkan posisi punggung dan pinggul terhadap sandaran dan alas kursi.

Posisi punggung tertentu terhadap sandaran kursi, menimbulkan gaya reaksi sandaran kursi terhadap punggung sebagai akibat gaya aksi yang dibebankan punggung terhadap sandaran kursi. Hal yang demikian juga terjadi pada alas kursi, sehingga timbul gaya reaksi alas kursi terhadap pinggul. Bersama-sama berat bagian tubuh yang disangga oleh kursi, ketiga gaya ini membentuk kesetimbangan, menjaga posisi duduk tetap dan tidak bergeser.

### **3.13.3. Sudut singgung anggota badan dengan kursi**

Posisi punggung terhadap sandaran kursi, membentuk suatu sudut relatif terhadap sumbu horisontal, bersinggungan di titik di mana gaya reaksi sandaran kursi bekerja. Posisi pinggul terhadap alas kursi juga membentuk sudut yang relatif terhadap sumbu horisontal, di titik di mana gaya reaksi alas kursi terhadap pinggul bekerja. Sudut-sudut ini berfungsi untuk menentukan besar gaya-gaya reaksi yang bekerja pada kursi dengan pendekatan aturan sinus.

### **3.13.4. Sudut inklinasi vertebra**

Setiap postur memiliki sudut penyimpangan vertebra terhadap sumbu vertikal yang berbeda-beda. Perbedaan sudut inklinasi ini mengakibatkan perbedaan gaya-gaya yang bekerja pada setiap intervertebra disc maupun pada vertebra. Secara umum penyimpangan vertebra terhadap sumbu vertikal ini untuk postur duduk, akan semakin besar dari ruas lumbar ke ruas cervical.

Penentuan sudut

penyimpangan ini dilakukan melalui penelitian, khususnya mengacu pada gambar postur yang diamati.

#### **3.13.5. Penentuan Gaya Normal dan Gaya Geser Pada Intervertebra Disc**

Gaya normal adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada permukaan intervertebra disc, sedangkan gaya geser adalah gaya yang bekerja sejajar pada permukaan intervertebra disc. Komponen yang berpengaruh terhadap perhitungan kedua gaya ini adalah berat lengan atas, berat kepala, gaya reaksi yang bekerja pada sandaran kursi, sudut yang dibentuk gaya reaksi pada sandaran terhadap sumbu horisontal, sudut inklinasi setiap vertebra relatif terhadap sumbu vertikal, dan berat akumulatif ruas-ruas vertebra.

#### **3.13.6. Perhitungan Momen Bending Pada Intervertebra Disc**

Momen bending di sini adalah momen bending yang terjadi pada setiap ruas intervertebra, ditentukan terutama berdasarkan jarak lengan momen untuk setiap komponen terhadap intervertebra dan juga gaya-gaya yang bekerja pada setiap komponen tersebut.

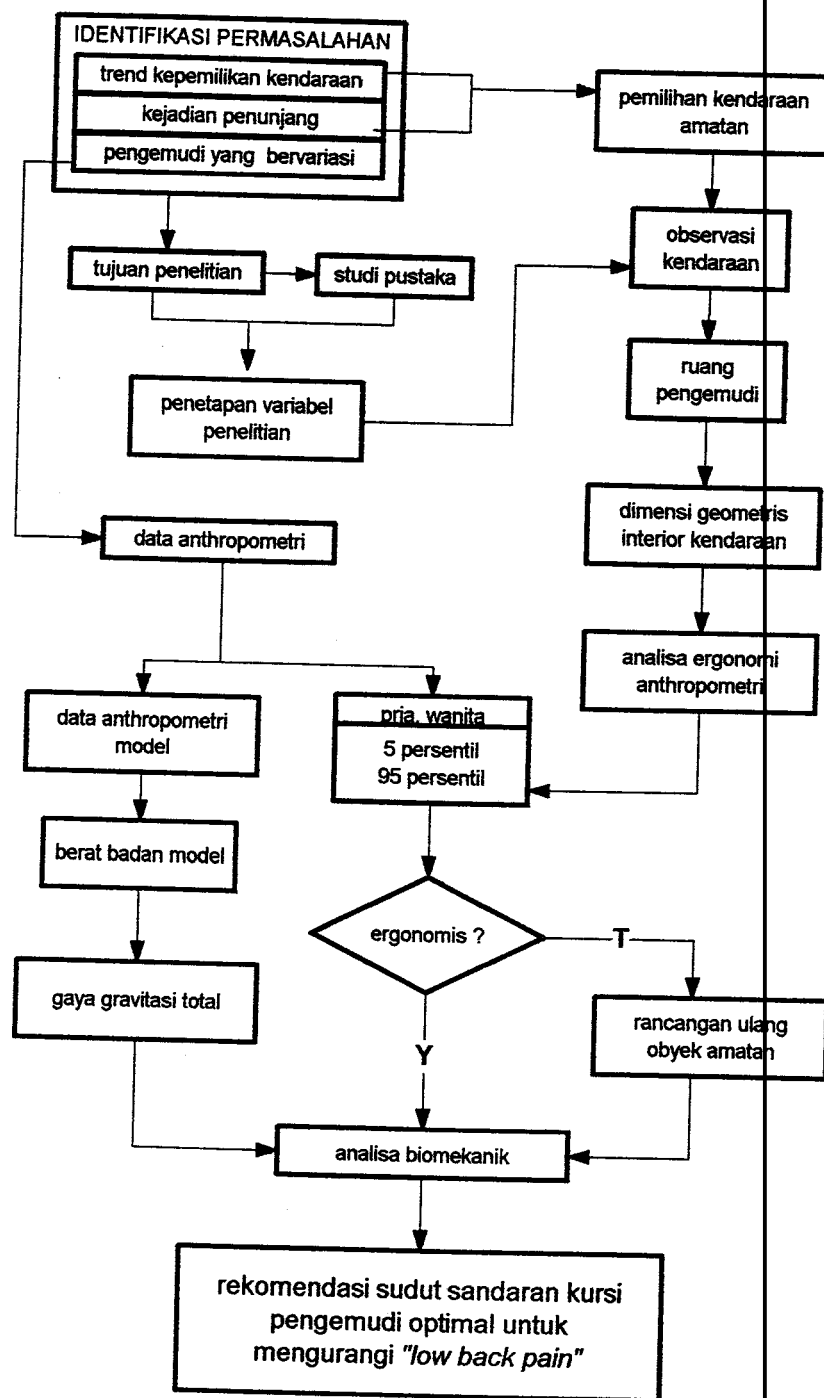
#### **3.13.7. Gaya Yang Bekerja Pada Vertebra**

Pada ruas tulang belakang sendiri terjadi gaya pada ligamen dan gaya kompresi pada sendi. Gaya-gaya ini terjadi akibat gaya-gaya yang bekerja pada

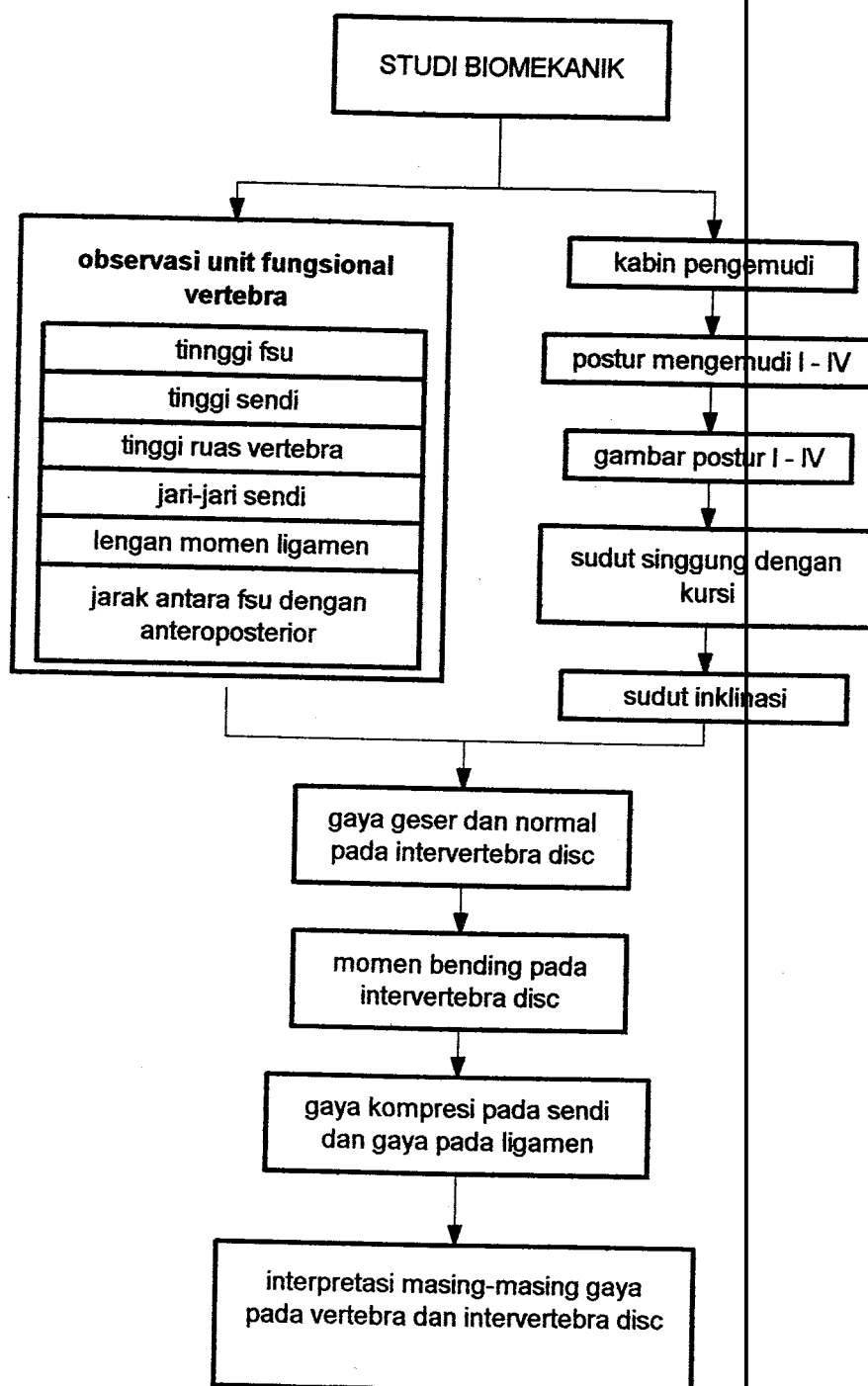
intervertebra disc, seperti yang telah diuraikan sebelumnya; gaya geser, gaya normal, serta momen bending.

#### **3.13.8. Interpretasi Masing-Masing Gaya Pada Setiap Vertebra dan Intervertebra Disc**

Setelah pengolahan data dilakukan berdasarkan postur yang diteliti, akan diketahui besar masing-masing gaya yang bekerja pada vertebra maupun intervertebra disc. Hasil interpretasi ini akan digunakan sebagai dasar penentuan sudut sandaran optimal yang direkomendasikan.



Gambar 3.1. Skema metodologi penelitian.



Gambar 3.2. Skema analisa biomekanik.



## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1. Profil Kendaraan

*All New Corolla* adalah kendaraan dengan kapasitas silinder 1,6 liter, bertipe sedan, dan secara khusus dikelompokkan ke dalam tiga jenis, yaitu:

1. Sedan empat pintu 1,6 L XLi (M/T)
2. Sedan empat pintu 1,6 L SE-G (M/T)
3. Sedan empat pintu 1,6 L SE-G (A/T)

Dari ketiga jenis pengelompokkan di atas, secara umum tidak terdapat perbedaan yang prinsipil. Perbedaan yang ada adalah pada : berat kosong, transmisi, perbandingan gigi, dan ukuran ban (selengkapnya lihat tabel 4.1).

Karena perbedaan yang tidak terlalu prinsipil tersebut, maka dalam pengamatan dimensi geometri interior kendaraan ini dipilih satu jenis saja dari tiga jenis yang ada. Kendaraan yang dipilih untuk diamati adalah *All New Corolla SE-G (M/T)*, dengan pertimbangan peran manusia (pengemudi) dalam berinteraksi dengan kendaraan, lebih intensif daripada *All New Corolla SE-G (A/T)*, yang menggunakan transmisi otomatis.

Dalam rancangan yang telah ada, perlengkapan yang disediakan untuk menunjang keselamatan pengguna (pengemudi dan penumpang), cukup memadai. Hal ini dapat dilihat dari rancangan kerangka bodi yang cukup

kokoh, tersedia sabuk pengaman tiga sudut (*three point seat belt*), kantung udara pada kemudi yang akan mengembang bila terjadi benturan dari depan, mekanisme pada kemudi sedemikian rupa (terdapat engsel khusus pada kerangka kemudi) yang turut meredam akibat benturan, dan pelindung yang kokoh (pelat baja) untuk mencegah akibat benturan samping.

Kendaraan ini di desain untuk menampung empat penumpang, dua di depan (pengemudi dan penumpang depan) dan dua di belakang. Kedua kursi di bagian depan (*driver and front passenger seat*) masing-masing dilengkapi mekanisme yang memungkinkan untuk menggeser kursi maju atau mundur dan mengatur kemiringan sandaran kursi. Kursi penumpang di bagian belakang dijadikan satu dipisahkan oleh sandaran tangan yang bisa diatur dalam posisi vertikal ataupun horisontal.

Pengamatan di lapangan dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung terhadap dimensi geometris interior, khususnya yang berhubungan dengan analisa biomekanik yang akan dilakukan. Selain dilakukan dengan pengukuran langsung, pengamatan di lapangan juga dilakukan dengan mengambil gambar foto seorang model untuk mengamati postur kerja yang dilakukan pengemudi.

#### **4.1.1. Spesifikasi Kendaraan**

Secara teknis gambaran tentang kendaraan dapat dinyatakan dalam spesifikasi kendaraan ini. Meskipun data yang terdapat dalam spesifikasi

kendaraan ini tidak seluruhnya dipergunakan di dalam analisa, tetapi setidaknya lampiran data ini akan dapat memberikan masukan secara global tentang kendaraan yang diamati.

Tabel 4.1. Spesifikasi kendaraan

SPESIFIKASI		SEDAN EMPAT PINTU 1,6 L XLi (M/T)	SEDAN EMPAT PINTU 1,6 L SE-G (M/T)	SEDAN EMPAT PINTU 1,6 L SE-G (A/T)
DIMENSI DAN BERAT				
Panjang	mm	4285		
Lebar	mm	1690		
Tinggi	mm	1385		
Jarak poros	mm	2465		
Berat kosong	kg	990	1005	1030
CHASSIS				
Suspensi depan		Mac Pherson strut, dilengkapi dengan pegas koil dan stabilizer		
Suspensi Belakang		Mac Pherson dual link, dilengkapi dengan pegas koil dan stabilizer		
Rem depan		Cakram Berventilasi		
Rem belakang		Tromol		
Transmisi		Manual, 5 kecepatan		Otomatis, 4 kecepatan
Perbandingan gigi		I. 3,166 II. 1,904 III. 1,310 IV. 0,969		I. 3,643 II. 2,008
Kemudi		Rack & Pinion Power Assisted		
Radius putar minimum	m	4,8		
Kapasitas tangki bb	l	50		
Ukuran ban		175/65 HR-14	185/60 VR-14	
MESIN 16V-1600 cc (4A-FE)				
Tipe		4 silinder, segaris Twin Cam (DOHC) 16 Katup		
Isi langkah	cc	1587		
Perbandingan kompresi		9,5 : 1		
Daya maksimum	Ps/rpm	115/6000		
Momen puntir maksi	Kgm/rpm	15,0 4800		

#### 4.1.2. Dimensi Geometris Interior Kendaraan

Data yang didapat dari pengukuran langsung terhadap dimensi geometris interior All New Corolla SE-G (M/T), sangat penting dalam menganalisa permasalahan keergonomisan kendaraan ini. Kelayakan ergonomis yang ditinjau, berkaitan dengan posisi kerja duduk, maka yang menjadi fokus pembahasan adalah rancangan kursi yang telah ada dikaitkan dengan fungsi kerja (khususnya pengemudi), terhadap berbagai alat kontrol yang ada. Analisa dilakukan dengan pendekatan ergonomi anthropometri.

Selanjutnya, hasil analisa ergonomi anthropometri ini akan menjadi dasar analisa biomekanik terhadap postur kerja duduk yang dilakukan oleh pengemudi maupun penumpang. Bila dari analisa ergonomi anthropometri didapatkan bahwa rancangan kursi yang ada kurang layak secara ergonomis, maka dilakukan redesain terhadap rancangan yang telah ada, tetapi bila rancangan yang ada telah layak ergonomis, langsung dilanjutkan pada analisa biomekanik.

Pengukuran langsung dilakukan menggunakan alat ukur berupa mistar gulung, busur derajat dan kamera (Fuji MDL-5, ASA-200). Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan milimeter untuk dimensi panjang dan satuan derajat untuk dimensi sudut. Lembar pengamatan beserta hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel.4.2.

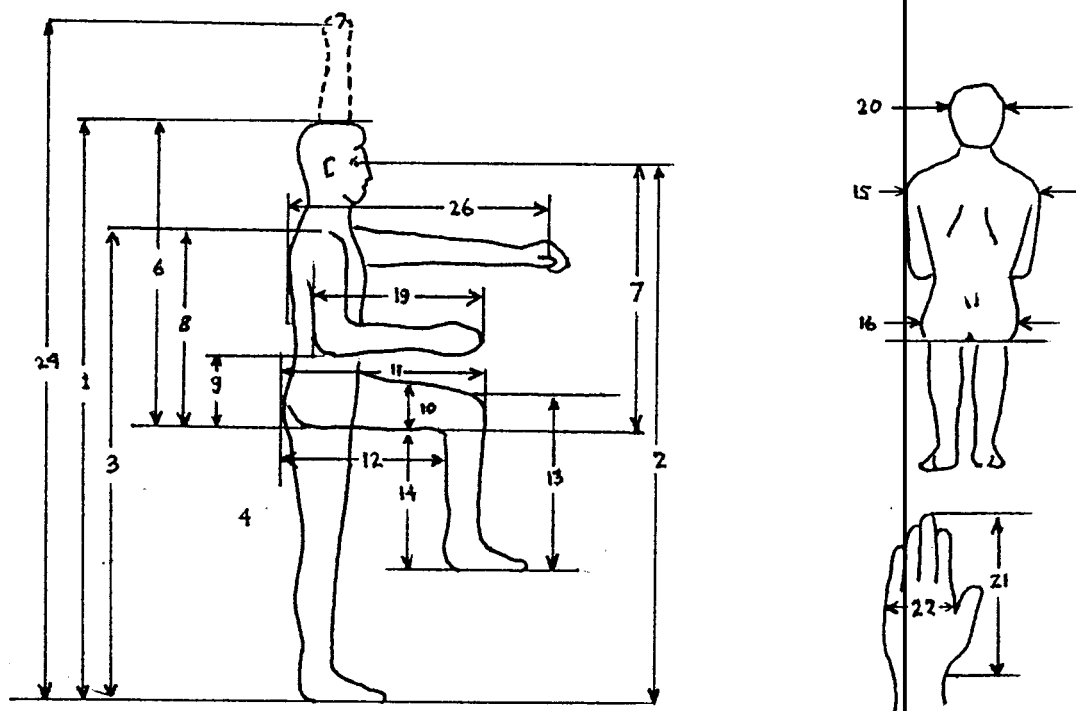
Tabel 4.2. Tabel dan hasil pengamatan dimensi geometris interior Toyota All New Corolla SEG-M/T

NO	TYPE	SE-G(M/T)	
1	Jarak pergeseran kursi	230	-
2	Tinggi alas kursi bagian depan dari lantai	205	-
3	Tinggi alas kursi bagian belakang dari lantai	230	-
4	Sudut alas terhadap sumbu horisontal	-	15
5	Kedalaman kursi	390	-
6	Tinggi kursi	660	-
7	Sudut sandaran maksimum	-	135
8	Tinggi sandaran kepala	305	-
9	Lebar sandaran kepala	220	-
10	Lebar sandaran atas	440	-
11	Lebar sandaran bawah	500	-
12	Lebar alas depan	515	-
13	Lebar alas belakang	445	-
14	Maksimum pergeseran kemudi	15	-
15	Jarak pedal gas dari alas bagian depan kursi (mundur maks)	620	-
16	Jarak pedal rem dari alas bagian depan kursi (mundur maks)	570	-
17	Jarak pedal kopling dari alas bagian depan kursi (mundur maks)	580	-
18	Lebar pedal gas	43	-
19	Lebar pedal rem	50	-
20	Lebar pedal kopling	50	-
21	Tinggi pedal gas	100	-
22	Tinggi pedal rem	65	-
23	Tinggi pedal kopling	65	-
24	Sudut pedal gas terhadap vertikal	-	55
25	Sudut pedal rem terhadap vertikal	-	60
26	Sudut pedal kopling terhadap vertikal	-	60
27	Sudut kemiringan sandaran kepala	-	80
28	Jarak pedal gas terhadap pedal kopling	165	-
29	Jarak pedal rem terhadap pedal kopling	290	-
30	Tinggi atap terhadap lantai	1070	-

Keterangan : Dimensi panjang dalam satuan mm  
 Dimensi sudut dalam satuan derajat

#### 4.2. Data Anthropometri

Dengan asumsi dimensi tubuh orang Indonesia sama dengan dimensi tubuh orang Hongkong, maka data anthropometri yang digunakan untuk analisa ergonomi anthropometri adalah data sekunder, yaitu data anthropometri orang Hongkong dewasa usia 19 - 65 tahun. Data ini memuat 26 dimensi tubuh dalam posisi statis (berdiri dan duduk tegak), untuk lima (5), lima puluh (50) dan sembilan puluh lima (95) persentil beserta standar deviasinya. Semua dimensi dalam satuan milimeter. Presentasi data anthropometri dapat dilihat pada gambar.4.1 dan tabel.4.3.



Gambar 4.1. Dimensi tubuh yang diukur dalam tabel anthropometri

Tabel 4.3. Tabel anthropometri Hongkong untuk usia dewasa (19-65 tahun)

DIMENSI		PRIA				WANITA			
		5 ps	50 ps	95 ps	$\sigma_x$	5 ps	50 ps	95 ps	$\sigma_x$
1	tubuh tegak berdiri	1585	1680	1775	58	1455	1555	1655	60
2	tinggi mata dimensi 1	1470	1555	1640	52	1330	1425	1520	57
3	tinggi bahu dimensi 1	1300	1380	1460	50	1180	1265	1350	51
4	tinggi siku dimensi 1	950	1015	1080	39	870	935	1000	41
5	tinggi kepala tangan yang terjulur lepas dimensi 1	685	750	815	40	650	715	780	41
6	tinggi tubuh dalam posisi duduk	845	900	955	34	780	840	900	37
7	tinggi mata dimensi 6	720	780	840	35	660	720	780	35
8	tinggi bahu dimensi 6	555	605	655	31	510	560	610	29
9	tinggi siku dimensi 6	190	240	290	31	165	230	295	38
10	lebar paha	110	135	160	14	105	130	155	14
11	panjang paha dari pinggul sampai ujung lutut	505	550	595	26	470	520	570	30
12	panjang paha dari pinggul sampai bagian belakang betis	405	450	495	26	385	435	485	29
13	tinggi lutut dari lantai sampai ujung lutut	450	495	540	26	410	455	500	27
14	tinggi lutut dari lantai sampai paha	365	405	445	25	325	375	425	29
15	lebar bahu	380	425	470	26	335	385	435	29
16	lebar pinggul	300	335	370	22	295	330	365	21
17	dada membusung	155	195	235	25	160	215	270	34
18	lebar perut	150	210	270	36	150	215	280	39
19	panjang siku dari ujung siku sampai ujung jari dalam posisi tegak lurus	410	445	480	22	360	400	440	24
20	lebar kepala	150	160	170	7	135	150	165	8
21	panjang tangan dari pergelangan sampai ujung jari	165	180	195	9	150	165	180	9
22	lebar telapak tangan	70	80	90	5	60	70	80	5
23	panjang tangan dalam posisi tangan terbentang lebar-lebar	1480	1635	1790	95	1350	1480	1610	80
24	tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak	1835	1970	2105	83	1685	1825	1965	86
25	tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk	1110	1205	1300	58	855	940	1025	51
26	jarak jangkauan tanganyang terjulur ke depan	640	705	770	38	580	635	690	32

SEMUA DIMENSI DALAM MILIMETER

PS = PERSENTIL

#### 4.3. Pengolahan Data Untuk Analisa Ergonomi Anthropometri

Lingkungan kerja seorang pengemudi kendaraan bermotor roda empat dinilai memiliki kelayakan ergonomis bila syarat-syarat untuk mencapai kondisi yang dimaksud terpenuhi. Syarat-syarat tersebut diantaranya, kemudahan dalam menjangkau setiap peralatan penunjang kerja, keleluasaan gerak bagi anggota tu-

buh dalam melakukan kerja, kenyamanan kerja dalam posisi duduk sesuai dengan dimensi fisiologi pengemudi. Untuk itu analisa ergonomi anthropometri dilakukan pada : tinggi kursi, kedalaman kursi, sandaran punggung, sandaran leher, lebar kursi bawah, dan lebar kursi atas.

### **Tinggi kursi**

Dimensi	: lipat lutut ke telapak kaki ( <i>popliteal height</i> )
Jenis kelamin	: wanita
Persentil ke	: 50
Kelonggaran	: 30 mm
Tinggi kursi	: $(375 \times \sin 75) + 5 = 207,5 \text{ mm}$

### **Kedalaman kursi**

Dimensi	: panjang paha dari betis ( <i>buttock popliteal length</i> )
Jenis kelamin	: wanita
Persentil ke	: 5
Kelonggaran	: 5 mm
Kedalaman kursi	: $385 + 5 = 440 \text{ mm}$



**Tinggi sandaran punggung**

Dimensi : *sitting shoulder height*

Jenis kelamin : laki-laki

Persentil ke : 95

Kelonggaran : 5 mm

Tinggi sandaran punggung :  $655 + 5 = 660$  mm

**Tinggi sandaran kepala**

Dimensi : *sitting height - sitting shoulder height*

Jenis kelamin : laki-laki

Persentil ke : 95

Kelonggaran : 5 mm

Tinggi sandaran kepala :  $(955 - 655) + 5 = 305$  mm

**Lebar sandaran kursi bawah**

Dimensi : *hip breadth*

Jenis kelamin : laki-laki

Persentil ke : 95

Kelonggaran : 5 mm

Lebar sandaran kursi bawah :  $370 + 5 = 375$  mm

#### **Lebar sandaran kursi atas**

Dimensi : *shoulder breadth*

Jenis kelamin : laki-laki

Persentil ke : 95

Kelonggaran : 5 mm

Lebar sandaran kursi atas :  $470 + 5 = 475$  mm

#### **Lebar sandaran kepala**

Dimensi : *head breadth*

Jenis kelamin : laki-laki

Persentil ke : 95

Kelonggaran : 5 mm

Lebar sandaran kepala :  $170 + 5 = 175$  mm

#### 4.4. Pengolahan Data Untuk Analisa Biomekanik

##### 4.4.1. Free Body Analysis

*Free body analysis* adalah sebuah teknik yang dapat digunakan untuk menentukan gaya-gaya yang bekerja dalam bagian tubuh tertentu akibat beban internal dan eksternal (gravitasi). Dalam analisa biomekanik untuk postur duduk, bagian tubuh yang mendapat perhatian utama adalah tulang belakang (*vertebra*) yang mendapat pengaruh gaya-gaya internal dari bagian tubuh yang lain; kepala, lengan dan batang tubuh (*trunk*).

Dalam analisa free body diagram ini, kondisi keseimbangan harus dipenuhi. Hasil perhitungan gaya yang ada harus selalu nol, menganut ketentuan-ketentuan dalam hukum Newton.

Untuk dapat menentukan gaya-gaya yang bekerja dalam postur yang diamati, besar maupun arahnya, perlu dilakukan pengamatan langsung untuk mendapatkan titik-titik di mana gaya-gaya eksternal yang bekerja bertumpu. Dalam postur duduk, gaya-gaya eksternal bertumpu di alas dan sandaran kursi.

Bagian tubuh yang ditopang oleh kursi adalah kedua lengan, batang tubuh, dan kepala dari subyek. Seseorang yang memiliki massa tubuh tertentu, berat kedua lengan atas, batang tubuh dan kepala dari subyek dapat ditentukan berdasarkan perumusan berikut :

$$\text{Berat tubuh (BW)} = \text{massa tubuh (kg)} \times \text{gaya gravitasi (9.8 m/s)}$$

$$\text{Berat lengan (Wa)} = 2 \times 2.7 \% \text{ BW}$$

Berat trunk ( $W_t$ ) = 50.3 % BW

Berat kepala ( $W_h$ ) = 7.7 % BW

Gaya total gravitasi untuk posisi duduk ditentukan sebagai berikut :

$$W_b = W_a + W_t + W_h$$

Gaya total gravitasi ini dapat digunakan untuk menentukan gaya-gaya yang bekerja pada sandaran dan alas kursi, berdasarkan sudut singgung pada sandaran dan alas kursi, sedemikian rupa sehingga tercapai kondisi keseimbangan.

Kondisi demikian dapat dideskripsikan seperti terlihat pada gambar.4.2, di mana :

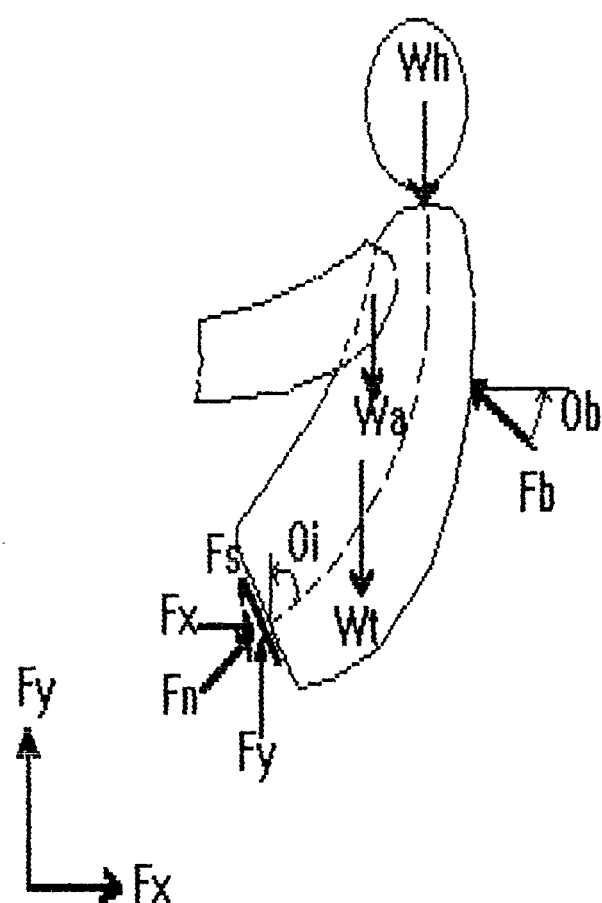
$W_b$  = Berat tubuh subyek.

$F_b$  = Gaya tegak lurus terhadap garis singgung antara punggung dan sandaran kursi.

$O_b$  = Sudut antara  $F_b$  dan permukaan sandaran relatif terhadap horisontal.

$F_s$  = Gaya pada bidang duduk yang dapat digambarkan dari titik potong antara bidang duduk dengan pantat dengan perpotongan dari  $F_b$  dan  $W_b$ .

$O_s$  = Sudut antara  $F_s$  dan garis horisontal.



Gambar 4.2. Gaya-gaya yang bekerja pada postur duduk.  
(Nurmianto, 1991)

#### 4.4.2. Analisa Intervertebral Disc

##### 4.4.2.1. Gaya Normal

Gaya normal adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada intervertebral disc . Gaya normal ini dapat dihitung dengan rumus :

$$F_n = F_y \cos O_i + F_x \sin O_i$$

Karena :

$$F_y = W_a + W_{t_i} + W_h - F_b \sin O_b$$

$$F_x = F_b \cos O_b$$

Maka :

$$F_n = (W_a + W_{t_i} + W_h - F_b \sin O_b) \cos O_i + (F_b \cos O_b) \sin O_i$$

Di mana :

$F_y$  = Komponen gaya vertikal.

$F_x$  = Komponen gaya horisontal.

$W_a$  = Berat lengan.

$W_{t_i}$  = Berat bagian-bagian tubuh.

$W_h$  = Berat kepala.

$F_b$  = Gaya pada punggung.

$O_b$  = Sudut inklinasi  $F_b$  relatif terhadap garis horisontal.

$O_i$  = Sudut inklinasi vertebral relatif terhadap garis vertikal.

Input data beserta dengan hasil analisa dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.2.2. Gaya Geser

Gaya geser yang dimaksud adalah gaya geser yang sejajar pada intervertebral disc. Gaya geser ini dapat dihitung dengan rumus :

$$F_s = F_y \sin O_i - F_x \cos O_i$$

Karena :

$$F_y = W_a + W_{t_i} + W_h - F_b \sin O_b$$

$$F_x = F_b \cos O_b$$

Maka :

$$F_s = (W_a + W_{t_i} + W_h - F_b \sin O_b) \sin O_i - (F_b \cos O_b) \cos O_i$$

Di mana :

$F_y$  = Komponen gaya vertikal.

$F_x$  = Komponen gaya horisontal.

$W_{t_i}$  = Berat bagian-bagian tubuh.

$W_h$  = Berat kepala.

$F_b$  = Gaya pada punggung.

$O_b$  = Sudut inklinasi  $F_b$  relatif terhadap garis horisontal.

$O_i$  = Sudut inklinasi vertebral relatif terhadap garis vertikal.

Input data beserta dengan hasil analisa dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.2.3. Momen Bending

Untuk mengestimasi gaya dan momen yang bekerja pada ruas tulang belakang dan ligamen yang menghubungkannya, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan resultan gaya-gaya pada pusat sendi. Berdasarkan kondisi kesetimbangan pada *free body diagram*, maka momen bending dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Mb_i = & Wa \cdot a_i + Wh \cdot h_i - Fb \cdot b_i + WL5 \cdot aL5 + WL4 \cdot aL4 + WL3 \cdot aL3 + \\ & WL2 \cdot aL2 + WL1 \cdot aL1 + WT12 \cdot aT12 + WT11 \cdot aT11 + WT10 \cdot \\ & aT10 + WT9 \cdot aT9 + WT8 \cdot aT8 + WT7 \cdot aT7 + WT6 \cdot aT6 + WT5 \cdot \\ & aT5 + WT4 \cdot aT4 + WT3 \cdot aT3 + WT2 \cdot aT2 + WT1 \cdot aT1 + WC7 \cdot aC7 \\ & + WC6 \cdot aC6 + WC5 \cdot aC5 + WC4 \cdot aC4 + WC3 \cdot aC3 + WC2 \cdot aC2 + \\ & WC1 \cdot aC1 \end{aligned}$$

Di mana :

- $Mb_i$  = Momen bending yang bekerja pada sendi ke-i.
- $Wa$  = Berat lengan.
- $a_i$  = Lengan momen antara lengan dengan sendi ke-i.
- $Wh$  = Berat kepala.
- $h_i$  = Lengan momen antara kepala dengan sendi ke-i.
- $Fb$  = Gaya pada sandaran kursi.



$b_i$  = Lengan momen dari  $F_b$  terhadap pusat vertebra untuk sendi ke-i.

$WL_i$  = Berat lumbar ke-i.

$aL_i$  = Lengan momen antara lumbar dengan sendi ke-i.

$WT_i$  = Berat thoracic ke-i.

$aT_i$  = Lengan momen antara thoracic dengan sendi ke-i.

$WC_i$  = Berat cervical ke-i.

$aC_i$  = Lengan momen antara cervical dengan sendi ke-i.

Input data dan hasil analisa momen bending ini dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.2.4. Analisa Ruas Tulang Belakang

Gambar 4.3 menunjukkan sendi ke-i dan ruas tulang belakang yang mengapitnya. Pada gambar tersebut ditunjukkan komponene gaya-gaya yang ditentukan dari analisis sebelumnya. Gaya tersebut dikerjakan pada sendi oleh ruas tulang belakang berikutnya. Berikut adalah analisa ruas-ruas tulang belakang, diasumsikan momen di pusat sendi dalam keadaan setimbang, maka :

$$\sum M = 0$$

$$F_2 \times Y - M_b + F_1 \times C - F_s \times H_v / 2 = 0$$

$b_i$  = Lengan momen dari  $F_b$  terhadap pusat vertebra untuk sendi ke-i.

$WL_i$  = Berat lumbar ke-i.

$aL_i$  = Lengan momen antara lumbar dengan sendi ke-i.

$WT_i$  = Berat thoracic ke-i.

$aT_i$  = Lengan momen antara thoracic dengan sendi ke-i.

$WC_i$  = Berat cervical ke-i.

$aC_i$  = Lengan momen antara cervical dengan sendi ke-i.

Input data dan hasil analisa momen bending ini dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.3. Analisa Ruas Tulang Belakang

Gambar 4.3 menunjukkan sendi ke-i dan ruas tulang belakang yang mengapitnya. Pada gambar tersebut ditunjukkan komponene gaya-gaya yang ditentukan dari analisis sebelumnya. Gaya tersebut dikerjakan pada sendi oleh ruas tulang belakang berikutnya. Berikut adalah analisa ruas-ruas tulang belakang, diasumsikan momen di pusat sendi dalam keadaan setimbang, maka :

$$\sum M = 0$$

$$F_2 \times Y - M_b + F_1 \times C - F_s \times H_v / 2 = 0$$

$$F_2 = \frac{M_b + F_1 \times C - F_s \times H_v / 2}{Y} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$F_2 - F_1 = F_n$$

$$F_1 = F_2 - F_n \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (4.2) ke dalam persamaan (4.1) akan diperoleh :

$$F_2 = \frac{M_b - (F_2 - F_n) \times C - F_s \times H_v / 2}{Y}$$

$$F_2 = \frac{M_b - (F_n \times C) - (F_s \times H_v / 2)}{Y} - \frac{F_2 \times C}{Y}$$

$$F_2 + \frac{F_2 \times C}{Y} = \frac{M_b + (F_n \times C) - (F_s \times H_v / 2)}{Y}$$

$$F_2 \left( \frac{Y + C}{Y} \right) = \frac{M_b + (F_n \times C) - (F_s \times H_v / 2)}{Y}$$

Sehingga :

$$F_2 = \frac{M_b + (F_n \times C) - (F_s \times H_v / 2)}{Y + C}$$

Di mana :

$R_d$  = Jari-jari sendi.

$C$  = Lengan momen antara pusat sendi dengan ujung ruas

belakang.

$F_1$  = Gaya pada ligamen.

$F_2$  = Gaya kompresi pada sendi.

$F_s$  = Gaya geser yang bekerja pada sendi.

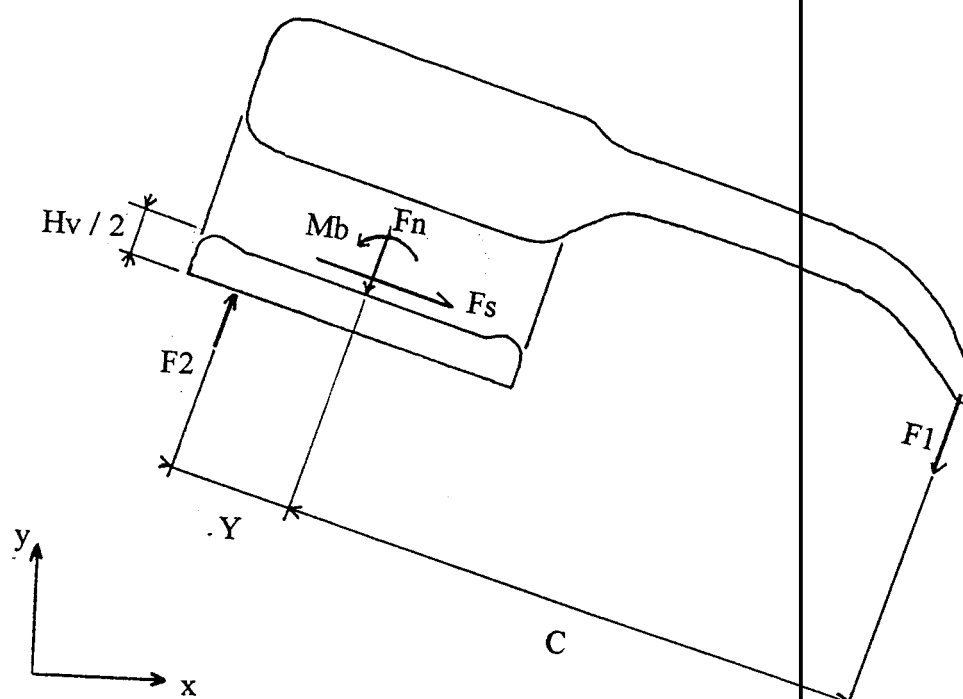
$F_n$  = Gaya normal.

$M_b$  = Momen bending.

$Y$  =  $2/3 R_d$ .

$H_v$  = Tinggi ruas tulang belakang.

Input data dan hasil analisa dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.3. Diagram analisa ruas tulang belakang  
(Nurmianto, 1991)

## **BAB V**

### **ANALISA DAN INTERPRETASI**

#### **5.1. Analisa Ergonomi Anthropometri**

Hasil analisa ergonomi anthropometri berdasarkan keterbatasan dimensi tubuh manusia akan dijadikan acuan pembandingan, apakah rancangan obyek amatan yang sudah ada memenuhi kualifikasi kelayakan ergonomis atau tidak. Obyek yang diamati dinyatakan sudah memenuhi kelayakan ergonomis, bila:

1. Obyek amatan tersebut sesuai untuk ukuran tubuh manusia yang mengikuti kualifikasi ekstrim, terlalu besar atau kecil dibandingkan rata-ratanya.
2. Tetap bisa digunakan untuk memenuhi ukuran tubuh yang lain (mayoritas dari populasi yang ada)

Berdasarkan kriteria tersebut, maka akan dibandingkan antara hasil perhitungan dan pengukuran langsung untuk menentukan kelayakan ergonomis obyek amatan. Perbandingan pengukuran langsung dan hasil perhitungan ergonomi anthropometri dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1. Perbandingan hasil pengukuran dan pengamatan langsung pada obyek yang diamati.

NAMA BAGIAN OBYEK AMATAN	DIMENSI	HASIL PENGUKURAN LANGSUNG (mm)	HASIL PERHITUNGAN (mm)	KELAYAKAN ERGONOMIS
Tinggi kursi	<i>popliteal height</i>	205	207,5	layak
kedalaman kursi	<i>buttock popliteal height</i>	390	390	layak
tinggi sandaran punggung	<i>sitting shouder height</i>	660	660	layak
tinggi sandaran kepala	<i>sitting height - sitting shoulder height</i>	305	305	layak
lebar sandaran bawah	<i>hip breadth</i>	220	375	layak
lebar sandaran atas	<i>shoulder breadth</i>	500	475	layak
lebar sandaran kepala	<i>head breadth</i>	440	175	layak

Dapat disimpulkan bahwa semua bagian dari obyek amatan memenuhi kelayakan ergonomis.

## 5.2. Analisa Ergonomi Biomekanik

### 5.2.1. Analisa sendi antar tulang belakang

#### 5.2.1.1. Gaya normal

Pada tabel L.4.1., L.4.2., L.4.3., dan L.4.4. dapat dilihat besarnya gaya normal pada masing-masing sendi antar ruas tulang belakang. Besarnya gaya normal pada masing-masing postur memiliki kecenderungan membesar dari bagian

cervical ke bagian lumbar. Pada postur kesatu (dengan sudut sandaran  $90^0$ ), gaya normal maksimum diderita oleh sendi L5-S1 sebesar 379,67 N. Sedangkan gaya normal minimum terjadi pada sendi C3-C4 sebesar 25,18 N. Gaya normal mempunyai nilai menurun mulai C1-C2 sampai C3-C4 dan kemudian naik kembali mulai C4-C5 sampai L5-S1. Kecenderungan ini terjadi juga pada postur-postur amatan yang lain. Pada postur kedua (dengan sudut sandaran  $100^0$ ), gaya normal maksimum terjadi pada sendi L5-S1 sebesar 355,81 N dan gaya normal terkecil terjadi pada sendi C3-C4 sebesar 17,58 N. Pada postur ketiga gaya normal maksimum terjadi pada sendi L5-S1 sebesar 345,38 N dan minimum pada sendi C3-C4 sebesar 17,71 N. Pada postur keempat (dengan sudut sandaran  $110^0$ ) gaya normal maksimum terjadi pada sendi L5-S1 sebesar 333,34 N dan minimum pada sendi C3-C4 sebesar 19,59 N. Pada semua postur, gaya normal terbesar terjadi pada sendi L5-S1, dan dari empat postur yang diamati, gaya normal maksimum terkecil terjadi pada sendi L5-S1 pada postur duduk dengan sudut sandaran  $110^0$ .

#### 5.2.1.2. Gaya geser

Seperti halnya pada gaya normal, maka gaya geser pada sendi antar ruas tulang belakang, cenderung membesar dari bagian cervical sampai ke bagian lumbar (lihat tabel L.4.1., L.4.2., L.4.3., dan L.4.4.). Perkecualian terjadi pada postur pertama untuk sudut sandaran  $90^0$ , mulai sendi L4-L5 gaya geser pada sendi



mulai mengecil. Pada postur pertama ini gaya geser maksimum terjadi pada sendi L3-L4 sebesar 462,70 N. Pada postur yang lain gaya geser maksimum terjadi pada sendi L5-S1, pada postur kedua sebesar 422,39 N, pada postur ketiga sebesar 401,67 N, dan postur keempat sebesar 369,65 N. Gaya geser maksimum terkecil terjadi pada postur keempat untuk sudut sandaran  $110^{\circ}$ .

#### **5.2.1.3. Momen bending**

Perhitungan momen bending pada sendi antar ruas tulang belakang bergantung pada gaya-gaya yang terjadi pada batang tubuh (trunk), dan gaya-gaya pada sendi antar ruas tulang belakang sendiri. Dalam tugas akhir ini, tujuan penelitian ditekankan pada rujukan untuk mengurangi keluhan pada bagian bawah punggung (sebagian thoracic dan lumbar). Dalam analisa biomekanik untuk menentukan momen bending pada masing-masing sendi antar ruas tulang belakang, digunakan pendekatan model statis dua segmen, dalam hal ini dua segmen yang terbentuk dipisahkan oleh titik di mana gaya reaksi sandaran kursi terhadap berat tubuh yang disangganya terjadi. Dalam postur yang diamati, gaya reaksi oleh sandaran kursi tersebut terjadi pada sendi T7-T8. Momen bending untuk sendi antar ruas tulang belakang yang berada di atas sendi T7-T8 dihitung tanpa melibatkan besarnya gaya reaksi yang ditimbulkan oleh sandaran kursi tersebut.

Dari tabel L4.1. terlihat bahwa momen bending mengalami titik balik mulai sendi T6-T7. Mulai dari sendi C1-C2 sampai ke sendi T6-T7, momen bending cenderung membesar dengan arah perputaran momen searah dengan jarum jam. Mulai sendi C7-C8 momen bending mulai mengecil dan setelah itu kembali membesar tetapi dengan arah berlawanan dengan arah jarum jam. Pada postur pertama momen bending terbesar terjadi pada sendi L5-S1 dengan arah berlawanan dengan arah jarum jam. Pada postur kedua, dan ketiga titik balik terletak pada sendi T6-T7, sedang pada postur keempat titik balik terjadi pada sendi T7-T8. Momen bending terbesar terjadi pada sendi L5-S1 untuk semua postur, dengan nilai momen terkecil terjadi pada postur keempat, dengan arah perputaran momen berlawanan dengan arah jarum jam.

### **5.2.2. Analisa ruas tulang belakang**

Nilai gaya-gaya pada ruas tulang belakang sangat bervariasi, tetapi secara umum semakin membesar dari cervical ke lumbar (lihat tabel L.4.1. sampai tabel L.4.4.). Untuk F1 (gaya pada ligamen) terbesar terjadi pada ruas L5 (1930 N), demikian pula untuk F2 (gaya kompresi pada sendi) terbesar terjadi pada ruas L5 (1550 N).

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini antara lain:

1. Perancangan suatu fasilitas kerja tidak cukup mempertimbangkan faktor manusia secara eksternal, dalam arti batasan secara anthropometris, tetapi juga harus mempertimbangkan batasan internal dalam tubuh manusia itu sendiri, terutama dalam melakukan kerja dalam postur tertentu.
2. Semakin besar sudut sandaran pada posisi mengemudi akan semakin memperkecil kemungkinan terjadi keluhan pada bagian bawah tulang belakang. Seberapa besar sudut sandaran optimal yang dapat mengurangi keluhan pada bagian bawah tulang belakang tergantung pula pada batasan-batasan yang ada pada dimensi tubuh manusia itu sendiri. Dalam hal ini penulis memberikan nilai batasan optimal pada sudut sandaran  $110^0$ , karena sudut sandaran ini mengakibatkan beban gaya-gaya yang bekerja pada vertebra, minimum dari berbagai gaya yang timbul dari berbagai postur yang diamati.
3. Dalam penentuan gaya-gaya yang bekerja pada sendi maupun ruas antar tulang belakang, selain perbedaan sudut sandaran, maka faktor lain yang sangat

berperan adalah perbedaan pada sudut penyimpangan terhadap sumbu vertikal oleh tiap-tiap ruas tulang belakang itu sendiri.

4. Variabel lain yang berperan dalam penentuan besar gaya-gaya yang bekerja pada tulang belakang adalah berat badan. Dalam analisa ergonomi biomekanik, khususnya dengan menggunakan model punggung, penentuan berat setiap ruas tubuh adalah fungsi dari berat badan model.

## 6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian yang sama untuk berbagai macam model baik dengan mempertimbangkan perbedaan-perbedaan dalam jenis kelamin dan tinggi badan.
2. Melakukan penelitian yang sama dengan mempertimbangkan postur kerja tertentu dalam hubungannya dengan fungsi waktu.
3. Melakukan pengukuran langsung terhadap dimensi *functional spinal unit* untuk meningkatkan ketelitian hasil penelitian.
4. Pengembangan lebih lanjut dari *software* yang dipergunakan dalam penelitian ini, untuk lebih meningkatkan kemanfaatan praktis perangkat lunak tersebut.

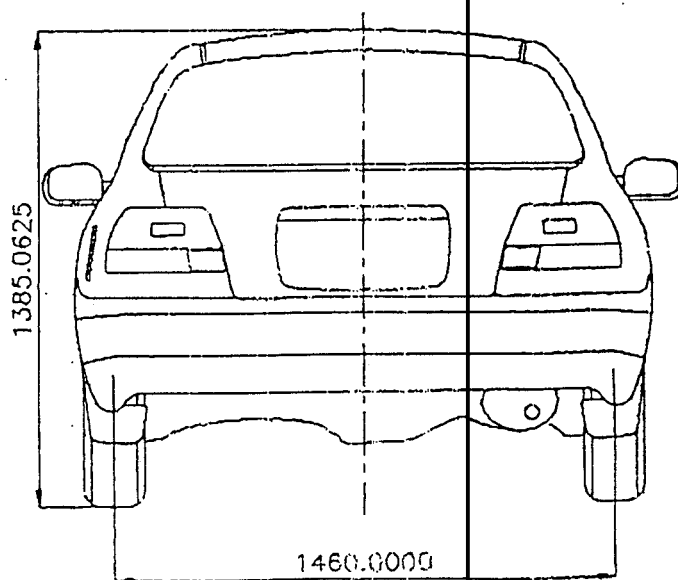
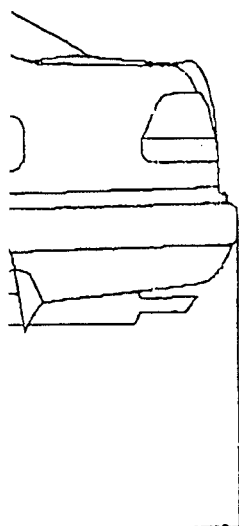
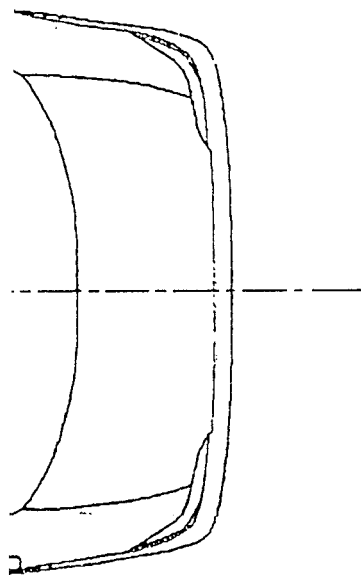
## DAFTAR PUSTAKA

- Aspden, R.M. (1988) A new mathematical model of the spine and its relationship to the spinal loading in the workplace. Journal of the Applied Ergonomics, 319 - 323.
- Chapanis, A. (1983) Introduction to human factors considerations in system design, in C.M. Mitchel, P. Van Balen, and K. Moe (eds.), Human factors considerations in system design, NASA conference publ 2246, Washington.
- Chapanis, A. (1985) Some reflection on progress, proceeding of the human factors society 29th annual meeting, Santa Monica CA: human factors society.
- Dickinson, C.E., Campion, K., Foster, A.F., Newman, S.J., O'Rourke, A.M.T., and Thomas, P.G. (1992) Questionare Development : an examination of the Nordic Musculoskeletal Questionare. Journal of Applied Ergonomics 23, 197- 201.
- Gracovetsky, S., Farfan, H.F., and Lamy, C. (1981) The mechanism of the lumbar spine, Spine.
- Grandjean, E. (1987) Fitting the task to the man, : an ergonomics approach, McGraw Hill Inc: Sydney.
- Gray, H. (1989) Gray's anatomy, (eds : Williams, P.L. et al.) 37th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone.

- Irawan, H.S. dan Nurmianto, E. (1991) Analisa ergonomi dan evaluasi desain pada Horizontal Display console di ruang pusat informasi tempur KRI Slamet Riyadi - 352, Seminar nasional Teknik dan Manajemen Industri dalam rangka lustrum I Fak. Teknik Ubaya 27-28 Nopember, Surabaya.
- Kulak, R.F.et.al.(1976) Non linear behavior of the human intervertebral disc under axial load, J. Biomech.
- McGill, S.M. (1988) Estimation of force and extensor moment contributions of the disc and ligament at L4-L5, Spine.
- Nurmianto, E. (1991) Ergonomics and biomechanics of posture, thesis MEngSC Dept. of Industrial Engineering, Univ. of New South Wales, Sydney, Australia.
- Nurmianto, E. (1991) Desain stasiun kerja industri : tinjauan ergonomi dalam industri, seminar nasional DESPRI (Desain Produk Industri) Teknik Industri FTI-ITS dan Desain Produk FTSP-ITS, Surabaya, Indonesia.
- Nurmianto, E. (1996) Ergonomi, konsep dasar dan aplikasinya, Guna Widya, Jakarta.
- Pheasant, E. (1986) Bodyspace : Anthropometri, Ergonomics and Design, Taylor and Francis, London.
- Pulat, Mustafa (1992) Fundamentals of industrial ergonomics, Prentice Hall International Series in Industrial and System Engineering.
- Sanders, M.S. and McCormick (1987) Human factors in engineering and design, McGraw Hill Inc. : New York.

- Spalteholz, V., Spanner, R., Dharma, A., Andianto, P (1993) Atlas anatomi manusia, Ed. XVI, Hipokrates : Jakarta.
- Spilker, R.L., Daugirda, D.M. and Schultz, A.B. (1984) Mechanical response of a simple finite element model of the intervertebral disc under complex loading, J. Biomechanics.
- Stevenson, M.G. (1989) The principles of ergonomics, centre for safety science UNSW, Sydney.
- Svensson, N.L. (1989) The mechanisc of the human body, Fac. of engineering UNSW, Sydney.
- White III, A.A. and Panjabi, M.M. (1978) Clinical of the biomechanics of spine, Lippincott, Philadelphia.
- Wignjosoebroto, Sritomo (1993) Pengantar teknik industri, Guna Widya, Jakarta.

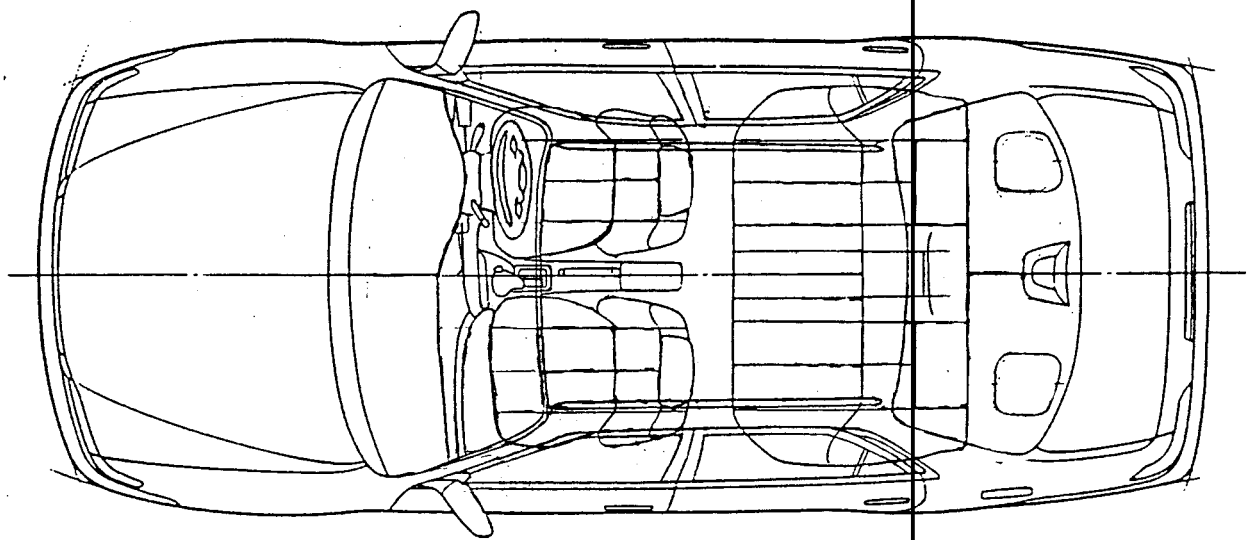
L.1.1.



M/T.



L.1.2.



Gambar L.1.B. Gambar interior tampak atas Toyota All New Corolla SE-G M/T.

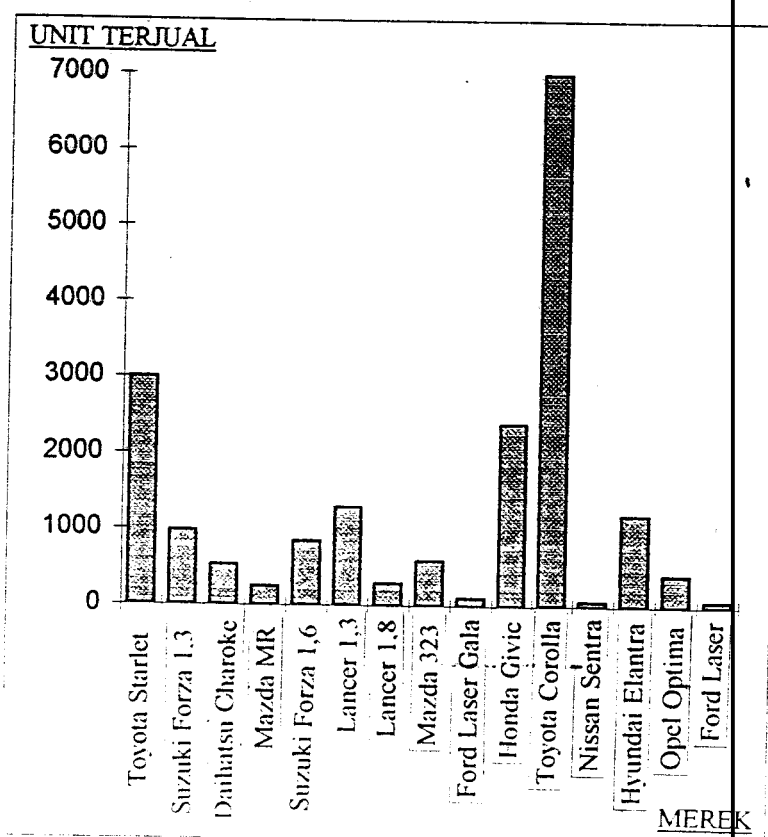
Tabel L.1.A. Statistik penjualan sedan seharga Rp 35-70 juta tahun 1995.

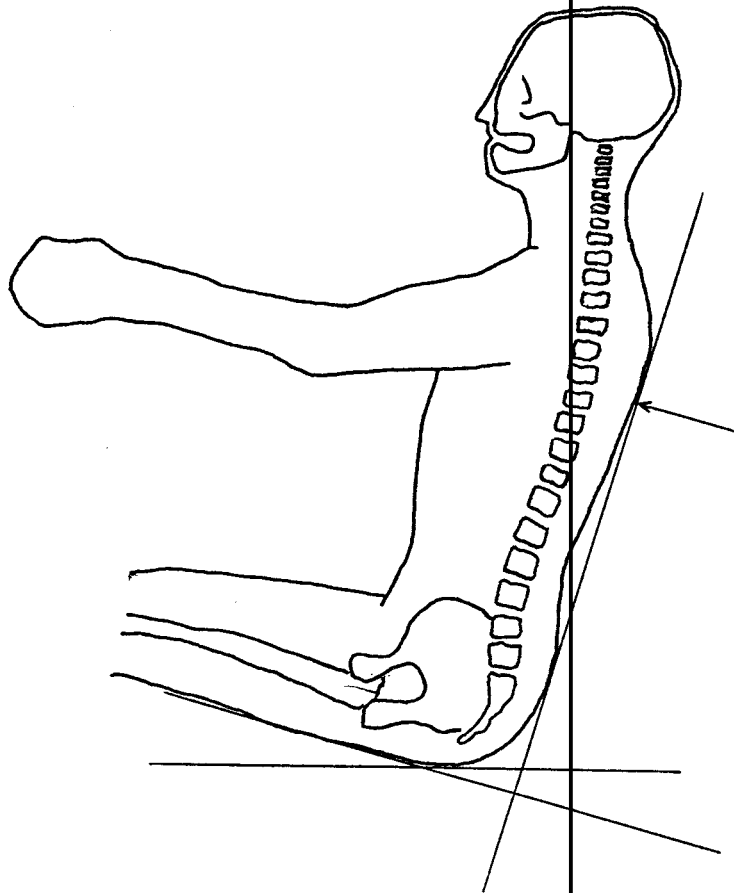
**JUMLAH PENJUALAN SEDAN SEHARGA 35-70 JUTA TAHUN 1995  
(BERDASARKAN ITEM PRODUK)**

Toyota Starlet	3000
Suzuki Forza 1,3	990
Daihatsu Charoke	540
Mazda MR	260
Suzuki Forza 1,6	850
Mitsubishi Lancer 1,3	1300
Mitsubishi Lancer 1,8	300
Mazda 323	600
Ford Laser Gala	110
Honda Civic	2400
Toyota Corolla	7000
Nissan Sentra	70
Hyundai Elantra	1200
Opel Optima	420
Ford Laser Champ	80

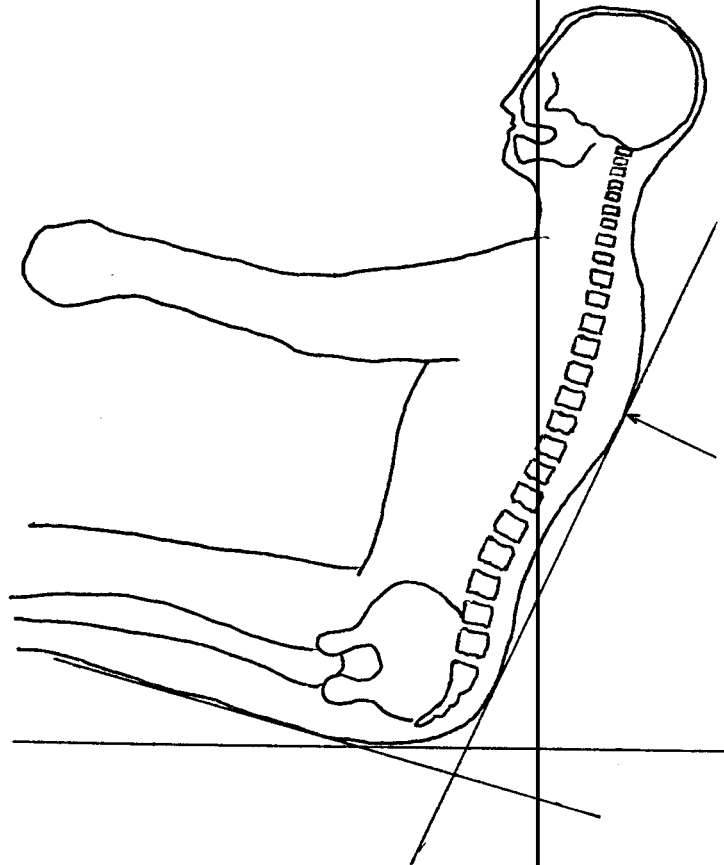
Sumber :

Harian Surya, 29 Maret 1996 (data Gaikindo)

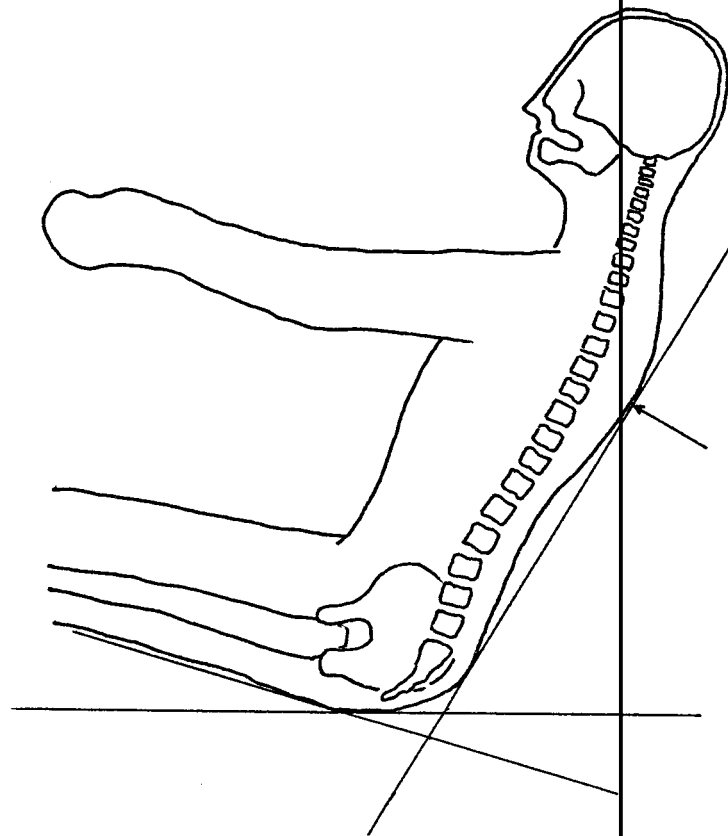




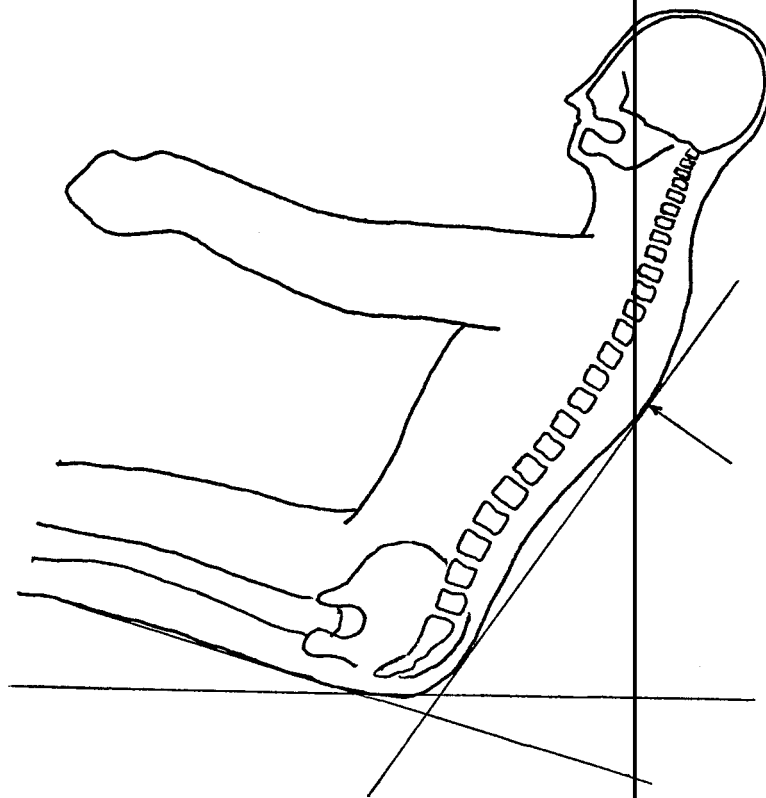
Gambar L.2.A. Gambar postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $90^{\circ}$



Gambar L.2.A. Gambar postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100°



Gambar L.2.A. Gambar postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105°

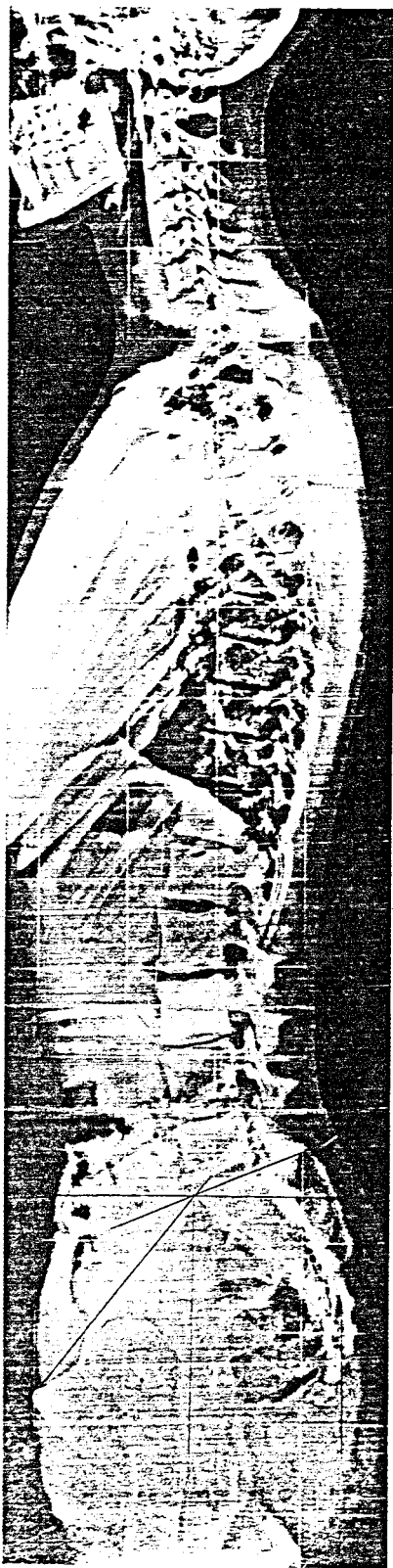


Gambar L.2.A. Gambar postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $110^{\circ}$

L.2.5.

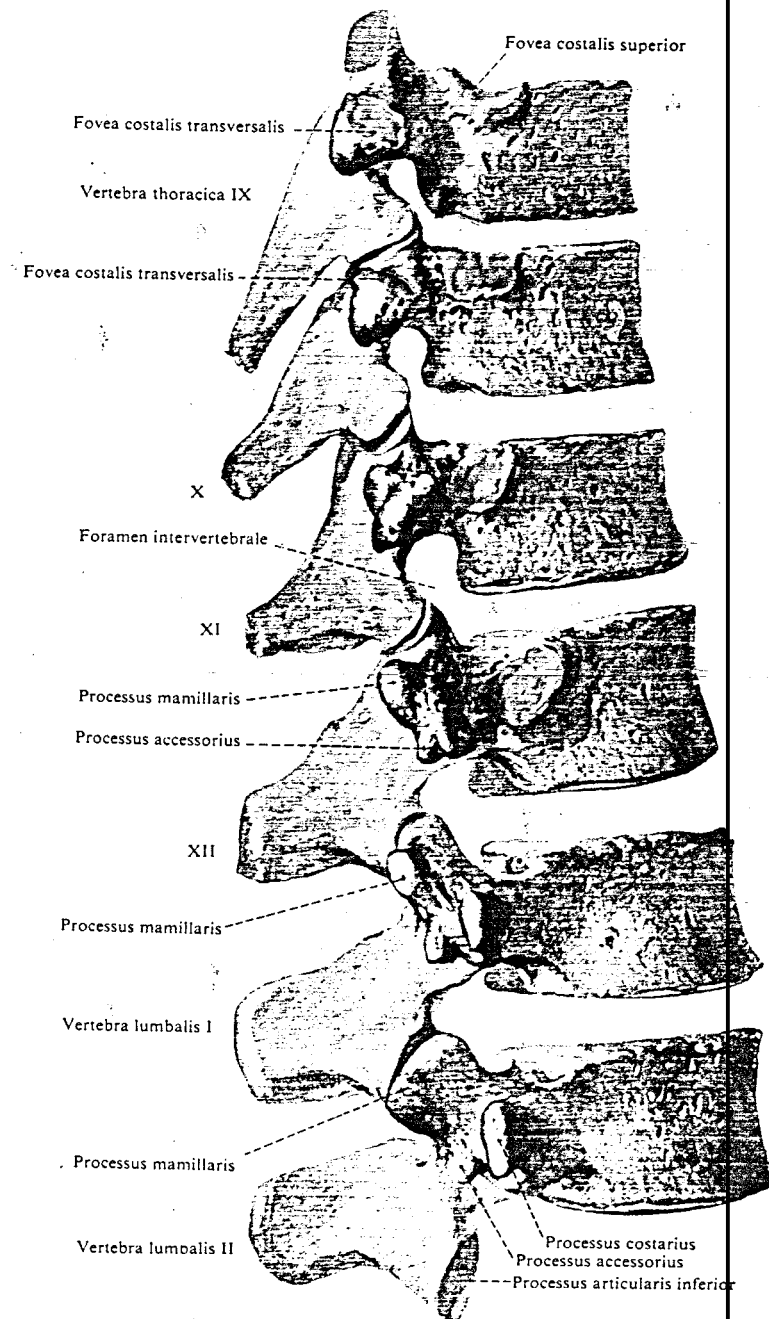


Gambar L.2.E. Photo rontgen pria sehat usia 25 tahun.

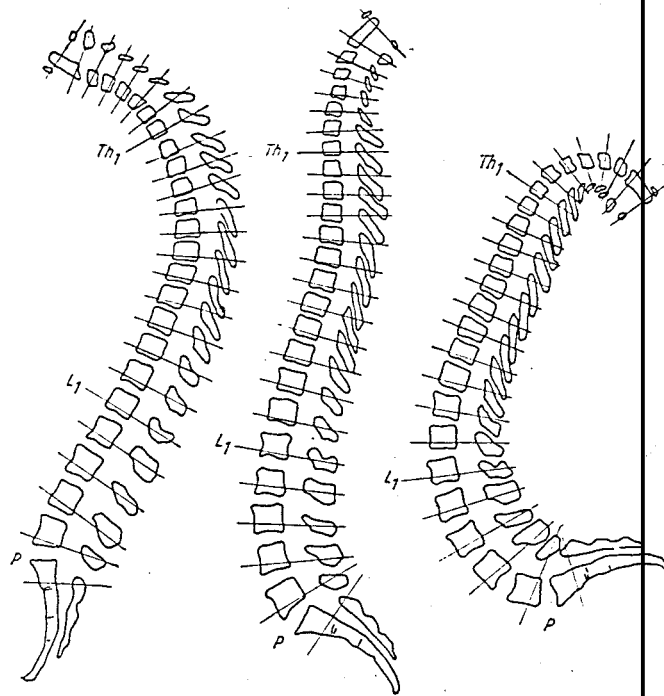


Gambar L.2.F. Photo rontgen wanita normal usia 18 tahun.





Gambar L.2.G. Vertebra thoracica inferior dan vertebra lumbalis.



Gambar L.2.H. Fleksi dan ekstensi kolom vertebra.

Tabel L.2.A. Prosentase segmen-segmen tubuh.

University of New South Wales

FACULTY OF ENGINEERING

Segment	Mass		Centre of Mass		Radius of Gyration Mean %
	Range %	Mean %	Range %	Mean %	
Body	-	100	-	41.2	
Head	7.3 - 8.1	7.7	43.3 - 46.6	44.7	(31.6)*
Trunk	49.7 - 50.7	50.3		38.0	(30.4)*
Upper Arm	2.6 - 2.8	2.7	43.6 - 51.3	48.4	26.8
Forearm/ Hand	2.2 - 2.3	2.3	62.6 - 67.7	65.5	26.3
Forearm		1.6		43.0	-
Hand	0.6 - 0.7	0.7		49.4	-
Thigh	9.9 - 10.3	10.1	37.2 - 43.3	40.5	25.0
Calf/foot	5.8 - 6.1	5.9	43.7 - 47.5	45.6	30.3
Calf	4.3 - 4.6	4.5	37.1 - 43.3	40.2	26.4
Foot	1.4 - 1.5	1.4	42.9 - 44.9	43.9	-

\* Estimated.

Tabel. L.3.A. Input data model dalam analisa biomekanik.

## DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

-----  
DATA MODEL

Nama model = XMAN  
 Jumlah postur = 4  
 Massa tubuh model = 70.00 kg

Verte	C	Hv	Rd	Wv
C1	4.605	11.45	8.25	6.20
C2	4.602	11.65	8.91	12.30
C3	4.658	12.70	9.42	8.20
C4	4.693	12.70	10.09	9.00
C5	4.736	12.85	10.79	10.90
C6	4.773	13.10	11.25	10.10
C7	4.820	13.35	11.92	11.30
T1	5.040	14.90	12.88	10.90
T2	5.067	15.15	13.11	12.30
T3	5.600	15.50	13.99	12.50
T4	5.368	16.90	14.52	13.20
T5	5.033	14.65	15.08	11.10
T6	4.970	13.95	15.65	11.80
T7	5.866	14.50	16.24	12.00
T8	5.254	16.10	16.86	13.50
T9	5.695	17.90	17.51	14.70
T10	6.108	17.45	18.17	14.40
T11	5.539	18.90	18.86	16.00
T12	6.027	21.05	19.58	17.80
L1	5.532	26.55	20.33	22.20
L2	5.970	29.05	21.10	23.10
L3	5.930	29.15	21.90	23.00
L4	5.540	31.15	22.74	24.70
L5	4.869	26.40	22.77	24.20

## Keterangan :

C = jarak pusat disc ke ujung vertebra (cm)

Hv = tinggi vertebra (mm)

Rd = jari-jari disc (mm)

Wv = berat verte yang mewakili segmen tubuh (N)

Tabel. L.3.B. 1 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 1 > TABEL 1

Ob = sudut terhadap sandaran = 15.00 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 80.00 derajat

Ld (i)	Oi	ai	bi	hi	aC1	aC2	aC3
C1-C2	7.00	0.000	0.000	0.007	0.001	-	-
C2-C3	5.00	0.000	0.000	0.009	0.002	0.001	-
C3-C4	2.50	0.000	0.000	0.011	0.004	0.003	0.001
C4-C5	2.50	0.000	0.000	0.011	0.004	0.003	0.001
C5-C6	3.00	0.000	0.000	0.012	0.005	0.004	0.002
C6-C7	4.00	0.000	0.000	0.013	0.007	0.005	0.004
C7-T1	4.50	0.000	0.000	0.013	0.007	0.005	0.004
T1-T2	5.50	0.000	0.000	0.014	0.008	0.006	0.005
T2-T3	6.00	0.000	0.000	0.017	0.011	0.009	0.007
T3-T4	7.00	0.004	0.000	0.018	0.012	0.010	0.008
T4-T5	8.50	0.007	0.000	0.019	0.012	0.011	0.009
T5-T6	10.00	0.009	0.000	0.022	0.016	0.014	0.013
T6-T7	11.00	0.015	0.000	0.025	0.019	0.017	0.016
T7-T8	11.50	0.017	0.004	0.031	0.025	0.023	0.022
T8-T9	12.00	0.027	0.030	0.037	0.031	0.029	0.028
T9-T10	13.00	0.035	0.060	0.043	0.037	0.035	0.034
T10-T11	13.50	0.044	0.093	0.053	0.047	0.045	0.044
T11-T12	15.00	0.055	0.120	0.060	0.054	0.052	0.051
T12-L1	20.00	0.063	0.155	0.072	0.066	0.064	0.063
L1-L2	18.00	0.075	0.195	0.082	0.075	0.074	0.072
L2-L3	17.00	0.089	0.233	0.098	0.091	0.089	0.088
L3-L4	14.00	0.096	0.271	0.105	0.098	0.970	0.095
L4-L5	9.00	0.106	0.302	0.108	0.102	0.100	0.099
L5-S1	8.00	0.106	0.337	0.113	0.106	0.105	0.103

Keterangan :

Oi = sudut inklinasi (derajat)  
 ai = lengan momen dari bahu ke intervertebra (m)  
 bi = lengan momen dari Fb ke intervertebra (m)  
 hi = lengan momen dari kepala ke intervertebra (m)  
 aC1..aC3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.B 2 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 1 > TABEL 2

Ob = sudut terhadap sandaran = 15.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 80.00 derajat

Ld (i)	aC4	aC5	aC6	aC7	aT1	aT2	aT3
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	0.001	-	-	-	-	-	-
C5-C6	0.001	0.001	-	-	-	-	-
C6-C7	0.003	0.002	0.001	-	-	-	-
C7-T1	0.003	0.002	0.001	0.001	-	-	-
T1-T2	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	-	-
T2-T3	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	-
T3-T4	0.008	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.001
T4-T5	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005	0.004	0.002
T5-T6	0.011	0.011	0.010	0.010	0.008	0.007	0.005
T6-T7	0.015	0.014	0.013	0.012	0.011	0.010	0.008
T7-T8	0.021	0.019	0.019	0.019	0.017	0.016	0.014
T8-T9	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.022	0.020
T9-T10	0.033	0.032	0.031	0.031	0.030	0.028	0.026
T10-T11	0.043	0.042	0.041	0.041	0.039	0.038	0.036
T11-T12	0.050	0.049	0.048	0.048	0.047	0.045	0.043
T12-L1	0.062	0.061	0.059	0.059	0.058	0.056	0.055
L1-L2	0.071	0.071	0.069	0.069	0.068	0.066	0.064
L2-L3	0.087	0.086	0.085	0.085	0.084	0.082	0.080
L3-L4	0.094	0.094	0.093	0.092	0.091	0.090	0.088
L4-L5	0.098	0.097	0.096	0.096	0.094	0.093	0.091
L5-S1	0.102	0.101	0.101	0.100	0.099	0.098	0.096

Keterangan :

aC4..aT3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.B.3 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 1 > TABEL 3

Ob = sudut terhadap sandaran = 15.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 80.00 derajat

Ld (i)	aT4	aT5	aT6	aT7	aT8	aT9	aT10
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	0.001	-	-	-	-	-	-
T5-T6	0.004	0.002	-	-	-	-	-
T6-T7	0.007	0.004	0.002	-	-	-	-
T7-T8	0.013	0.011	0.008	0.003	-	-	-
T8-T9	0.019	0.017	0.014	0.009	0.001	-	-
T9-T10	0.025	0.023	0.020	0.015	0.007	0.002	-
T10-T11	0.035	0.033	0.030	0.025	0.017	0.012	0.001
T11-T12	0.042	0.040	0.037	0.032	0.024	0.019	0.008
T12-L1	0.054	0.051	0.049	0.043	0.036	0.030	0.019
L1-L2	0.063	0.061	0.059	0.053	0.046	0.040	0.092
L2-L3	0.079	0.077	0.075	0.069	0.062	0.056	0.045
L3-L4	0.086	0.084	0.082	0.076	0.069	0.063	0.052
L4-L5	0.090	0.088	0.085	0.080	0.072	0.067	0.056
L5-S1	0.094	0.092	0.090	0.084	0.077	0.071	0.060

Keterangan :

aT4..aT10 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.B.4 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 90°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 1 > TABEL 4

Ob = sudut terhadap sandaran = 15.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 80.00 derajat

Ld (i)	aT11	aT12	aL1	aL2	aL3	aL4	aL5
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	-	-	-	-	-	-	-
T5-T6	-	-	-	-	-	-	-
T6-T7	-	-	-	-	-	-	-
T7-T8	-	-	-	-	-	-	-
T8-T9	-	-	-	-	-	-	-
T9-T10	-	-	-	-	-	-	-
T10-T11	-	-	-	-	-	-	-
T11-T12	0.002	-	-	-	-	-	-
T12-L1	0.013	0.002	-	-	-	-	-
L1-L2	0.023	0.011	0.002	-	-	-	-
L2-L3	0.039	0.027	0.017	0.002	-	-	-
L3-L4	0.046	0.034	0.025	0.008	0.001	-	-
L4-L5	0.050	0.038	0.028	0.012	0.005	0.001	-
L5-S1	0.054	0.042	0.033	0.016	0.009	0.005	0.001

Keterangan :

aT11..aL5 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)



Tabel. L.3.C.1. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 2 > TABEL 1

Ob = sudut terhadap sandaran = 25.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	Oi	ai	bi	hi	aC1	aC2	aC3
C1-C2	20.00	0.000	0.000	0.005	0.002	-	-
C2-C3	13.00	0.000	0.000	0.009	0.005	0.003	-
C3-C4	11.00	0.000	0.000	0.012	0.008	0.005	0.001
C4-C5	10.50	0.000	0.000	0.013	0.010	0.007	0.003
C5-C6	11.00	0.000	0.000	0.017	0.013	0.010	0.006
C6-C7	12.00	0.000	0.000	0.018	0.014	0.012	0.007
C7-T1	12.50	0.000	0.000	0.019	0.015	0.012	0.008
T1-T2	13.50	0.000	0.000	0.024	0.020	0.018	0.013
T2-T3	14.00	0.000	0.000	0.027	0.023	0.020	0.016
T3-T4	15.00	0.006	0.000	0.028	0.025	0.022	0.018
T4-T5	16.50	0.010	0.000	0.035	0.032	0.029	0.025
T5-T6	18.00	0.014	0.000	0.040	0.036	0.034	0.029
T6-T7	19.00	0.025	0.000	0.049	0.045	0.043	0.038
T7-T8	19.50	0.035	0.007	0.058	0.054	0.051	0.047
T8-T9	20.00	0.040	0.035	0.064	0.060	0.058	0.053
T9-T10	21.00	0.050	0.067	0.075	0.072	0.069	0.065
T10-T11	21.50	0.067	0.099	0.089	0.085	0.082	0.078
T11-T12	23.00	0.078	0.129	0.112	0.098	0.096	0.091
T12-L1	28.00	0.093	0.166	0.119	0.115	0.113	0.108
L1-L2	26.60	0.112	0.204	0.137	0.134	0.131	0.127
L2-L3	26.00	0.128	0.241	0.155	0.152	0.149	0.144
L3-L4	21.50	0.137	0.277	0.161	0.158	0.155	0.151
L4-L5	17.00	0.145	0.309	0.169	0.165	0.162	0.158
L5-S1	16.00	0.151	0.341	0.177	0.174	0.171	0.167

Keterangan :

Oi = sudut inklinasi (derajat)

ai = lengan momen dari bahu ke intervertebra (m)

bi = lengan momen dari Fb ke intervertebra (m)

hi = lengan momen dari kepala ke intervertebra (m)

aC1..aC3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.C.2 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 2 > TABEL 2

Ob = sudut terhadap sandaran = 25.00 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	aC4	aC5	aC6	aC7	aT1	aT2	aT3
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	0.001	-	-	-	-	-	-
C5-C6	0.005	0.002	-	-	-	-	-
C6-C7	0.006	0.003	0.001	-	-	-	-
C7-T1	0.007	0.004	0.002	0.001	-	-	-
T1-T2	0.012	0.009	0.007	0.006	0.003	-	-
T2-T3	0.015	0.012	0.009	0.009	0.006	0.002	-
T3-T4	0.016	0.014	0.011	0.010	0.008	0.004	0.001
T4-T5	0.024	0.021	0.018	0.017	0.015	0.011	0.008
T5-T6	0.028	0.025	0.023	0.021	0.019	0.015	0.012
T6-T7	0.037	0.034	0.032	0.030	0.028	0.024	0.021
T7-T8	0.046	0.043	0.040	0.039	0.037	0.033	0.030
T8-T9	0.052	0.049	0.047	0.046	0.043	0.039	0.036
T9-T10	0.063	0.061	0.058	0.057	0.055	0.051	0.047
T10-T11	0.077	0.074	0.072	0.071	0.068	0.064	0.061
T11-T12	0.090	0.087	0.085	0.084	0.082	0.077	0.074
T12-L1	0.107	0.104	0.102	0.101	0.098	0.094	0.091
L1-L2	0.126	0.123	0.120	0.119	0.117	0.113	0.109
L2-L3	0.143	0.141	0.138	0.137	0.135	0.130	0.127
L3-L4	0.149	0.147	0.144	0.143	0.141	0.137	0.133
L4-L5	0.157	0.154	0.151	0.150	0.148	0.144	0.141
L5-S1	0.165	0.163	0.160	0.159	0.157	0.153	0.149

Keterangan :

aC4...aT3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.C.3 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 2 > TABEL 3

Ob = sudut terhadap sandaran = 25.00 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	aT4	aT5	aT6	aT7	aT8	aT9	aT10
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	0.004	-	-	-	-	-	-
T5-T6	0.009	0.001	-	-	-	-	-
T6-T7	0.017	0.010	0.004	-	-	-	-
T7-T8	0.027	0.019	0.012	0.004	-	-	-
T8-T9	0.033	0.025	0.019	0.010	0.004	-	-
T9-T10	0.044	0.037	0.030	0.021	0.016	0.005	-
T10-T11	0.058	0.050	0.043	0.035	0.029	0.018	0.009
T11-T12	0.071	0.063	0.057	0.048	0.043	0.032	0.022
T12-L1	0.088	0.080	0.074	0.065	0.059	0.049	0.039
L1-L2	0.106	0.099	0.092	0.083	0.078	0.067	0.058
L2-L3	0.124	0.116	0.110	0.101	0.096	0.085	0.075
L3-L4	0.130	0.123	0.116	0.107	0.102	0.091	0.081
L4-L5	0.137	0.130	0.123	0.114	0.109	0.098	0.089
L5-S1	0.146	0.139	0.132	0.123	0.118	0.107	0.098

Keterangan :

aT4..aT10 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L3.C.4 Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 2 > TABEL 4

Ob = sudut terhadap sandaran = 25.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	aT11	aT12	aL1	aL2	aL3	aL4	aL5
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	-	-	-	-	-	-	-
T5-T6	-	-	-	-	-	-	-
T6-T7	-	-	-	-	-	-	-
T7-T8	-	-	-	-	-	-	-
T8-T9	-	-	-	-	-	-	-
T9-T10	-	-	-	-	-	-	-
T10-T11	-	-	-	-	-	-	-
T11-T12	0.005	-	-	-	-	-	-
T12-L1	0.022	0.005	-	-	-	-	-
L1-L2	0.041	0.024	0.013	-	-	-	-
L2-L3	0.058	0.042	0.031	0.012	-	-	-
L3-L4	0.065	0.048	0.037	0.018	0.003	-	-
L4-L5	0.072	0.055	0.044	0.026	0.011	0.004	-
L5-S1	0.080	0.064	0.053	0.034	0.020	0.012	0.004

Keterangan :

aT11...aL5 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.D.1. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $105^{\circ}$ .

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 3 > TABEL 1

Ob = sudut terhadap sandaran = 30.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	Oi	ai	bi	hi	aC1	aC2	aC3
C1-C2	25.00	0.000	0.000	0.005	0.003	-	-
C2-C3	18.00	0.000	0.000	0.009	0.006	-	-
C3-C4	16.00	0.000	0.000	0.013	0.011	0.003	-
C4-C5	15.50	0.000	0.000	0.019	0.016	0.007	0.002
C5-C6	16.00	0.000	0.000	0.023	0.020	0.012	0.007
C6-C7	17.00	0.000	0.000	0.026	0.024	0.017	0.011
C7-T1	17.50	0.000	0.000	0.031	0.028	0.020	0.015
T1-T2	18.50	0.000	0.000	0.035	0.033	0.025	0.020
T2-T3	19.00	0.000	0.000	0.040	0.037	0.029	0.024
T3-T4	20.00	0.004	0.000	0.045	0.043	0.034	0.028
T4-T5	21.50	0.013	0.000	0.053	0.051	0.039	0.034
T5-T6	23.00	0.026	0.000	0.064	0.061	0.047	0.042
T6-T7	24.00	0.034	0.000	0.072	0.069	0.058	0.052
T7-T8	24.50	0.045	0.009	0.084	0.082	0.066	0.060
T8-T9	25.00	0.058	0.035	0.098	0.095	0.078	0.072
T9-T10	26.00	0.072	0.067	0.114	0.111	0.091	0.086
T10-T11	26.50	0.089	0.098	0.129	0.126	0.107	0.102
T11-T12	28.00	0.105	0.129	0.146	0.144	0.122	0.117
T12-L1	33.00	0.126	0.164	0.164	0.161	0.140	0.135
L1-L2	31.50	0.146	0.204	0.188	0.185	0.158	0.153
L2-L3	31.00	0.166	0.244	0.205	0.202	0.182	0.177
L3-L4	26.50	0.177	0.279	0.217	0.215	0.199	0.193
L4-L5	23.00	0.191	0.315	0.231	0.230	0.211	0.206
L5-S1	21.00	0.204	0.346	0.239	0.237	0.224	0.219
						0.233	0.228

Keterangan :

Oi = sudut inklinasi (derajat)  
ai = lengan momen dari bahu ke intervertebra (m)  
bi = lengan momen dari Fb ke intervertebra (m)  
hi = lengan momen dari kepala ke intervertebra (m)  
aC1..aC3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L3.D.2. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran

kursi 105°.

## DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

## MODEL XMAN &gt; DATA POSTUR 3 &gt; TABEL 2

Ob = sudut terhadap sandaran = 30.00 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	aC4	aC5	aC6	aC7	aT1	aT2	aT3
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	0.003	-	-	-	-	-	-
C5-C6	0.007	0.002	-	-	-	-	-
C6-C7	0.010	0.005	0.002	-	-	-	-
C7-T1	0.015	0.010	0.006	0.002	-	-	-
T1-T2	0.020	0.014	0.011	0.007	0.003	-	-
T2-T3	0.024	0.019	0.015	0.011	0.007	0.002	-
T3-T4	0.029	0.024	0.020	0.016	0.012	0.007	0.003
T4-T5	0.037	0.032	0.028	0.024	0.020	0.015	0.011
T5-T6	0.048	0.043	0.039	0.035	0.031	0.026	0.022
T6-T7	0.056	0.051	0.047	0.043	0.039	0.034	0.030
T7-T8	0.068	0.063	0.059	0.055	0.051	0.046	0.042
T8-T9	0.082	0.076	0.073	0.069	0.065	0.059	0.055
T9-T10	0.098	0.092	0.089	0.085	0.081	0.075	0.071
T10-T11	0.113	0.107	0.104	0.099	0.096	0.090	0.086
T11-T12	0.130	0.125	0.122	0.117	0.114	0.108	0.104
T12-L1	0.148	0.143	0.139	0.135	0.131	0.126	0.122
L1-L2	0.172	0.167	0.163	0.159	0.155	0.150	0.146
L2-L3	0.190	0.184	0.180	0.176	0.172	0.167	0.163
L3-L4	0.201	0.196	0.192	0.188	0.184	0.179	0.175
L4-L5	0.215	0.209	0.206	0.202	0.198	0.192	0.188
L5-S1	0.224	0.218	0.215	0.211	0.207	0.201	0.197

Keterangan :

aC4..aT3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.D.3. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $105^{\circ}$ .

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 3 > TABEL 3

Ob = sudut terhadap sandaran = 30.00 derajat

Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	aT4	aT5	aT6	aT7	aT8	aT9	aT10
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	0.004	-	-	-	-	-	-
T5-T6	0.014	0.004	-	-	-	-	-
T6-T7	0.022	0.012	0.005	-	-	-	-
T7-T8	0.035	0.025	0.018	0.007	-	-	-
T8-T9	0.048	0.038	0.031	0.020	0.006	-	-
T9-T10	0.064	0.054	0.047	0.036	0.022	0.008	-
T10-T11	0.079	0.069	0.062	0.051	0.037	0.023	0.012
T11-T12	0.097	0.087	0.080	0.069	0.055	0.041	0.030
T12-L1	0.144	0.104	0.098	0.087	0.073	0.058	0.048
L1-L2	0.138	0.129	0.122	0.110	0.097	0.082	0.072
L2-L3	0.155	0.145	0.138	0.128	0.113	0.099	0.089
L3-L4	0.168	0.159	0.151	0.140	0.125	0.112	0.101
L4-L5	0.181	0.171	0.164	0.153	0.139	0.125	0.114
L5-S1	0.190	0.180	0.173	0.162	0.148	0.134	0.123

Keterangan :

aT4..aT10 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.D.4. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 3 > TABEL 4

Ob = sudut terhadap sandaran = 30.00 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 75.00 derajat

Ld (i)	aT11	aT12	aL1	aL2	aL3	aL4	aL5
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	-	-	-	-	-	-	-
T5-T6	-	-	-	-	-	-	-
T6-T7	-	-	-	-	-	-	-
T7-T8	-	-	-	-	-	-	-
T8-T9	-	-	-	-	-	-	-
T9-T10	-	-	-	-	-	-	-
T10-T11	-	-	-	-	-	-	-
T11-T12	0.009	-	-	-	-	-	-
T12-L1	0.027	0.008	-	-	-	-	-
L1-L2	0.051	0.032	0.020	-	-	-	-
L2-L3	0.067	0.049	0.036	0.009	-	-	-
L3-L4	0.080	0.061	0.049	0.022	0.007	-	-
L4-L5	0.093	0.075	0.062	0.035	0.020	0.006	-
L5-S1	0.102	0.083	0.071	0.044	0.029	0.015	0.006

Keterangan :

aT11...aL5 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)



Tabel. L.3.E.1. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $110^{\circ}$ .

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 4 > TABEL 1

Ob = sudut terhadap sandaran = 35.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 70.00 derajat

Ld (i)	Oi	ai	bi	hi	aC1	aC2	aC3
C1-C2	30.00	0.000	0.000	0.008	0.004	-	-
C2-C3	23.00	0.000	0.000	0.011	0.006	0.001	-
C3-C4	21.00	0.000	0.000	0.017	0.012	0.007	0.004
C4-C5	20.56	0.000	0.000	0.023	0.019	0.013	0.009
C5-C6	21.00	0.000	0.000	0.028	0.024	0.018	0.015
C6-C7	22.00	0.000	0.000	0.035	0.031	0.026	0.022
C7-T1	22.50	0.000	0.000	0.040	0.035	0.030	0.027
T1-T2	23.50	0.000	0.000	0.043	0.038	0.033	0.029
T2-T3	24.00	0.000	0.000	0.047	0.043	0.037	0.034
T3-T4	25.00	0.004	0.000	0.055	0.051	0.045	0.042
T4-T5	26.50	0.016	0.000	0.064	0.059	0.054	0.051
T5-T6	28.00	0.022	0.000	0.072	0.067	0.062	0.059
T6-T7	29.00	0.038	0.000	0.089	0.084	0.079	0.075
T7-T8	29.50	0.054	0.007	0.106	0.102	0.097	0.093
T8-T9	30.00	0.069	0.035	0.117	0.113	0.107	0.103
T9-T10	31.00	0.084	0.069	0.134	0.130	0.124	0.121
T10-T11	31.50	0.104	0.102	0.155	0.150	0.145	0.142
T11-T12	33.00	0.123	0.133	0.173	0.168	0.163	0.160
T12-L1	38.00	0.146	0.168	0.195	0.191	0.185	0.182
L1-L2	36.50	0.168	0.208	0.217	0.213	0.208	0.204
L2-L3	36.00	0.191	0.243	0.237	0.233	0.228	0.224
L3-L4	31.50	0.206	0.279	0.253	0.248	0.243	0.239
L4-L5	28.00	0.217	0.313	0.267	0.263	0.257	0.254
L5-S1	26.00	0.227	0.345	0.279	0.275	0.270	0.266

Keterangan :

Oi = sudut inklinasi (derajat)

ai = lengan momen dari bahu ke intervertebra (m)

bi = lengan momen dari Fb ke intervertebra (m)

hi = lengan momen dari kepala ke intervertebra (m)

aC1..aC3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.3.E.2. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $110^{\circ}$ .

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 4 > TABEL 2

Ob = sudut terhadap sandaran = 35.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 70.00 derajat

Ld (i)	aC4	aC5	aC6	aC7	aT1	aT2	aT3
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	0.003	-	-	-	-	-	-
C5-C6	0.008	0.003	-	-	-	-	-
C6-C7	0.015	0.009	0.004	-	-	-	-
C7-T1	0.020	0.014	0.008	0.002	-	-	-
T1-T2	0.022	0.017	0.010	0.005	0.001	-	-
T2-T3	0.027	0.021	0.015	0.009	0.006	0.002	-
T3-T4	0.035	0.029	0.023	0.017	0.014	0.010	0.004
T4-T5	0.043	0.038	0.032	0.026	0.023	0.019	0.013
T5-T6	0.051	0.046	0.040	0.034	0.030	0.027	0.021
T6-T7	0.068	0.063	0.057	0.051	0.047	0.044	0.038
T7-T8	0.086	0.080	0.075	0.069	0.065	0.062	0.055
T8-T9	0.097	0.091	0.085	0.079	0.076	0.072	0.066
T9-T10	0.114	0.108	0.102	0.096	0.093	0.089	0.083
T10-T11	0.135	0.130	0.123	0.118	0.114	0.110	0.104
T11-T12	0.153	0.147	0.141	0.135	0.132	0.128	0.122
T12-L1	0.175	0.169	0.163	0.157	0.154	0.150	0.144
L1-L2	0.197	0.191	0.185	0.180	0.176	0.173	0.166
L2-L3	0.217	0.212	0.206	0.200	0.196	0.193	0.187
L3-L4	0.232	0.227	0.221	0.215	0.212	0.208	0.202
L4-L5	0.246	0.241	0.235	0.229	0.226	0.222	0.216
L5-S1	0.259	0.254	0.247	0.242	0.238	0.235	0.228

Keterangan :

aC4..aT3 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L3.E.3. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $110^{\circ}$ .

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 4 > TABEL 3

Ob = sudut terhadap sandaran = 35.00 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 70.00 derajat

Ld (i)	aT4	aT5	aT6	aT7	aT8	aT9	aT10
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	0.004	-	-	-	-	-	-
T5-T6	0.012	0.004	-	-	-	-	-
T6-T7	0.029	0.021	0.013	-	-	-	-
T7-T8	0.047	0.039	0.031	0.007	-	-	-
T8-T9	0.058	0.049	0.042	0.018	0.004	-	-
T9-T10	0.075	0.066	0.059	0.035	0.021	0.009	-
T10-T11	0.096	0.087	0.080	0.056	0.043	0.031	0.012
T11-T12	0.113	0.105	0.098	0.074	0.060	0.049	0.030
T12-L1	0.136	0.127	0.120	0.096	0.082	0.071	0.052
L1-L2	0.158	0.149	0.142	0.118	0.105	0.093	0.074
L2-L3	0.178	0.170	0.162	0.138	0.125	0.114	0.095
L3-L4	0.193	0.185	0.177	0.153	0.140	0.128	0.110
L4-L5	0.208	0.199	0.192	0.168	0.154	0.143	0.124
L5-S1	0.220	0.211	0.204	0.180	0.167	0.155	0.137

Keterangan :

aT4..aT10 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L3.E.4. Input data untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi  $110^{\circ}$ .

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > DATA POSTUR 4 > TABEL 4

Ob = sudut terhadap sandaran = 35.00 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 70.00 derajat

Ld (i)	aT11	aT12	aL1	aL2	aL3	aL4	aL5
C1-C2	-	-	-	-	-	-	-
C2-C3	-	-	-	-	-	-	-
C3-C4	-	-	-	-	-	-	-
C4-C5	-	-	-	-	-	-	-
C5-C6	-	-	-	-	-	-	-
C6-C7	-	-	-	-	-	-	-
C7-T1	-	-	-	-	-	-	-
T1-T2	-	-	-	-	-	-	-
T2-T3	-	-	-	-	-	-	-
T3-T4	-	-	-	-	-	-	-
T4-T5	-	-	-	-	-	-	-
T5-T6	-	-	-	-	-	-	-
T6-T7	-	-	-	-	-	-	-
T7-T8	-	-	-	-	-	-	-
T8-T9	-	-	-	-	-	-	-
T9-T10	-	-	-	-	-	-	-
T10-T11	-	-	-	-	-	-	-
T11-T12	0.013	-	-	-	-	-	-
T12-L1	0.035	0.010	-	-	-	-	-
L1-L2	0.058	0.033	0.011	-	-	-	-
L2-L3	0.078	0.053	0.032	0.014	-	-	-
L3-L4	0.093	0.068	0.047	0.029	0.007	-	-
L4-L5	0.107	0.082	0.061	0.043	0.021	0.006	-
L5-S1	0.119	0.095	0.073	0.056	0.033	0.018	0.005

Keterangan :

aT11..aL5 = lengan momen dari verte ke intervertebra (m)

Tabel. L.4.A. Analisa biomekanik untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran

kursi 90°.

## DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

## MODEL XMAN &gt; ANALISA POSTUR 1

Ob = sudut terhadap sandaran = 15.0 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 80.0 derajat

Ld (i)	Wti	Fn	Fs	Mb	F1	F2
C1-C2	6.2	36.69	403.12	0.4	-41.	-5.
C2-C3	18.5	34.74	406.13	0.5	-40.	-5.
C3-C4	26.7	25.18	407.69	0.7	-40.	-14.
C4-C5	35.7	34.17	408.08	0.7	-40.	-6.
C5-C6	46.6	48.60	408.63	0.8	-41.	8.
C6-C7	56.7	65.75	409.37	0.9	-41.	24.
C7-T1	68.0	80.54	410.32	0.9	-44.	36.
T1-T2	78.9	98.41	411.59	1.0	-49.	50.
T2-T3	91.2	114.13	413.04	1.4	-46.	69.
T3-T4	103.7	133.46	415.00	1.7	-42.	92.
T4-T5	116.9	156.80	417.70	2.0	-48.	109.
T5-T6	128.0	177.85	420.44	2.6	-37.	141.
T6-T7	139.8	196.09	423.26	3.4	-27.	169.
T7-T8	151.8	211.13	425.99	3.0	-34.	177.
T8-T9	165.3	227.59	429.20	-6.4	-194.	34.
T9-T10	180.0	248.31	433.45	-17.4	-352.	-104.
T10-T11	194.4	265.45	437.37	-28.7	-488.	-222.
T11-T12	210.4	290.12	443.32	-37.9	-672.	-382.
T12-L1	228.2	335.76	454.61	-49.3	-797.	-461.
L1-L2	250.4	345.79	459.21	-62.0	-1057.	-711.
L2-L3	273.5	362.31	464.26	-73.6	-1158.	-796.
L3-L4	296.5	367.61	462.70	-76.3	-1196.	-828.
L4-L5	321.2	361.97	449.96	-98.5	-1573.	-1211.
L5-S1	345.4	379.67	449.17	-111.6	-1930.	-1550.

## Keterangan :

Wti = berat kumulatif bagian trunk sampai verte ke-i (N).

Fn = gaya normal (N).

Fs = gaya geser (N).

Mb = momen bending (Nm).

F1 = gaya pada ligamen (N).

F2 = gaya kompresi pada sendi (N).

Tabel. L.4.B. Analisa biomekanik untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 100°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > ANALISA POSTUR 2

Ob = sudut terhadap sandaran = 25.0 derajat  
Os = sudut terhadap alas kursi = 75.0 derajat

Ld (i)	Wti	Fn	Fs	Mb	F1	F2
C1-C2	6.2	55.44	316.20	0.28	-36.	20.
C2-C3	18.5	22.38	340.13	0.54	-30.	-8.
C3-C4	26.7	17.58	346.40	0.75	-29.	-12.
C4-C5	35.7	23.24	349.09	0.87	-28.	-5.
C5-C6	46.6	37.12	350.20	1.22	-24.	13.
C6-C7	56.7	53.32	350.48	1.34	-25.	29.
C7-T1	68.0	67.49	352.06	1.45	-26.	42.
T1-T2	78.9	84.31	352.98	2.10	-21.	63.
T2-T3	91.2	99.33	355.20	2.50	-18.	81.
T3-T4	103.7	117.48	357.05	2.95	-14.	103.
T4-T5	116.9	139.12	358.83	4.25	-2.	137.
T5-T6	128.0	158.46	360.38	5.18	16.	174.
T6-T7	139.8	175.36	363.02	7.25	48.	223.
T7-T8	151.8	189.49	366.47	6.58	27.	216.
T8-T9	165.3	204.94	370.62	-3.13	-132.	73.
T9-T10	180.0	224.08	375.07	-13.03	-277.	-53.
T10-T11	194.4	240.11	380.02	-21.95	-385.	-145.
T11-T12	210.4	262.50	385.46	-34.96	-617.	-354.
T12-L1	228.2	301.89	390.49	-39.93	-654.	-352.
L1-L2	250.4	315.52	401.27	-48.97	-850.	-535.
L2-L3	273.5	333.67	411.48	-57.54	-925.	-591.
L3-L4	296.5	335.11	417.44	-69.55	-1090.	-755.
L4-L5	321.2	337.43	417.96	-79.40	-1290.	-953.
L5-S1	345.4	355.81	422.39	-88.67	-1560.	-1204.

Keterangan :

Wti = berat kumulatif bagian trunk sampai verte ke-i (N).

Fn = gaya normal (N).

Fs = gaya geser (N).

Mb = momen bending (Nm).

F1 = gaya pada ligamen (N).

F2 = gaya kompresi pada sendi (N).

Tabel. L.4.C. Analisa biomekanik untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran kursi 105°.

DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

MODEL XMAN > ANALISA POSTUR 3

Ob = sudut terhadap sandaran = 30.0 derajat  
 Os = sudut terhadap alas kursi = 75.0 derajat

Ld (i)	Wti	Fn	Fs	Mb	F1	F2
C1-C2	6.2	53.13	264.53	0.28	-30.	23.6
C2-C3	18.5	21.99	294.70	0.55	-25.	-3.0
C3-C4	26.7	17.71	303.31	0.86	-22.	-4.6
C4-C5	35.7	23.35	307.17	1.34	-14.	9.0
C5-C6	46.6	36.84	308.79	1.72	-10.	27.2
C6-C7	56.7	52.44	309.09	2.06	-7.	45.9
C7-T1	68.0	66.16	311.21	2.61	0.	66.3
T1-T2	78.9	82.31	312.23	3.16	2.	84.5
T2-T3	91.2	96.81	315.07	3.79	9.	106.2
T3-T4	103.7	114.20	317.14	4.71	18.	132.4
T4-T5	116.9	134.77	318.81	6.35	37.	171.9
T5-T6	128.0	153.06	320.08	8.72	80.	233.1
T6-T7	139.8	169.09	322.89	10.52	108.	277.3
T7-T8	151.8	182.58	326.93	9.85	79.	261.8
T8-T9	165.3	197.32	331.77	3.03	-29.	168.2
T9-T10	180.0	215.41	336.62	-5.33	-158.	57.2
T10-T11	194.4	230.65	342.32	-13.15	-259.	-28.0
T11-T12	210.4	251.58	347.86	-20.12	-391.	-139.4
T12-L1	228.2	287.26	350.49	-27.79	-481.	-193.2
L1-L2	250.4	300.42	364.09	-35.87	-650.	-349.7
L2-L3	273.5	318.36	376.44	-45.44	-751.	-432.5
L3-L4	296.5	322.02	387.88	-54.49	-877.	-555.5
L4-L5	321.2	330.90	395.56	-63.21	-1054.	-723.3
L5-S1	345.4	345.38	401.67	-71.40	-1283.	-937.6

Keterangan :

Wti = berat kumulatif bagian trunk sampai verte ke-i (N).

Fn = gaya normal (N).

Fs = gaya geser (N).

Mb = momen bending (Nm).

F1 = gaya pada ligamen (N).

F2 = gaya kompresi pada sendi (N).

Tabel. L.4.D. Analisa biomekanik untuk postur mengemudi dengan sudut sandaran

kursi  $110^{\circ}$ .

## DOKUMENTASI PROGRAM BIOMECHANIC OF POSTURE

## MODEL XMAN &gt; ANALISA POSTUR 4

Ob = sudut terhadap sandaran = 35.0 derajat

Os = sudut terhadap alas kursi = 70.0 derajat

Ld (i)	Wti	Fn	Fs	Mb	F1	F2
C1-C2	6.2	51.10	204.12	0.45	-19.	31.7
C2-C3	18.5	23.07	238.03	0.63	-17.	5.9
C3-C4	26.7	19.59	248.27	1.09	-11.	8.1
C4-C5	35.7	25.58	252.94	1.59	-3.	22.2
C5-C6	46.6	38.17	255.40	2.08	3.	41.2
C6-C7	56.7	52.92	256.03	2.82	13.	66.4
C7-T1	68.0	66.02	258.83	3.36	20.	85.7
T1-T2	78.9	81.24	260.25	3.70	18.	99.4
T2-T3	91.2	95.05	263.84	4.30	25.	119.8
T3-T4	103.7	111.40	266.45	5.65	39.	150.4
T4-T5	116.9	130.55	268.47	7.54	63.	193.9
T5-T6	128.0	147.45	269.94	9.16	94.	241.8
T6-T7	139.8	162.36	273.24	12.97	156.	318.2
T7-T8	151.8	175.03	278.00	14.46	152.	326.8
T8-T9	165.3	188.88	283.67	6.91	39.	228.2
T9-T10	180.0	205.64	289.21	-1.23	-91.	115.0
T10-T11	194.4	219.91	295.80	-7.57	-175.	44.9
T11-T12	210.4	239.02	301.90	-13.70	-288.	-48.7
T12-L1	228.2	270.03	303.82	-19.78	-361.	-91.4
L1-L2	250.4	283.26	319.61	-27.22	-513.	-229.3
L2-L3	273.5	300.49	333.84	-32.81	-568.	-267.3
L3-L4	296.5	306.97	349.15	-40.44	-677.	-369.7
L4-L5	321.2	318.03	360.65	-47.48	-821.	-502.7
L5-S1	345.4	333.54	369.85	-54.18	-1004.	-670.5

## Keterangan :

Wti= berat kumulatif bagian trunk sampai verte ke-i (N).

Fn = gaya normal (N).

Fs = gaya geser (N).

Mb = momen bending (Nm).

F1 = gaya pada ligamen (N).

F2 = gaya kompresi pada sendi (N).